

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terkait

Penelitian tentang perambatan suara atau akustik telah banyak dilakukan salah satunya yang dilakukan Mariani dan Nurlaela Rauf (2008) yaitu deskripsi kondisi akustik ruang masjid Al Markaz Al Islami Makassar. Tingkat tekanan suara (SPL) aktivitas *speech* (ceramah/khotbah) dalam ruang masjid diukur pada waktu shalat Dzuhur dan shalat Jumat, masing-masing sebanyak 3 hari. Shalat Dzuhur mewakili kondisi ruangan terisi sedikit jamaah, dimana pengisian ruang rata-rata 2 shaf pria penuh (@ sepanjang 30 m) dan 3 shaf wanita penuh (@ sepanjang 12 m). Sementara, shalat Jumat mewakili kondisi ruangan terisi banyak jamaah, dimana pengisian ruang diestimasi rata-rata 70% penuh. Kondisi saat pengukuran adalah semua *loudspeaker* dalam ruang masjid dihidupkan, kecuali di balkon pada shalat Dzuhur. Setting volume *loudspeaker* menyesuaikan dengan kebutuhan penggunaan ruang masjid, lebih keras pada shalat Jumat (level maksimum dengan nilai indikator 3). Suara yang diukur adalah suara pembicaraan langsung oleh penceramah dari *loudspeaker*, dengan karakteristik suara yang diukur tinggi-moderat-rendah dari sebuah deretan nada pembicaraan yang fluktuatif, seragam pada setiap titik ukur. Hasil pengukuran tingkat tekanan suara *speech* pada 13 titik ukur yang ditentukan dalam ruang masjid tercantum pada Tabel 2.1 dibawah ini.

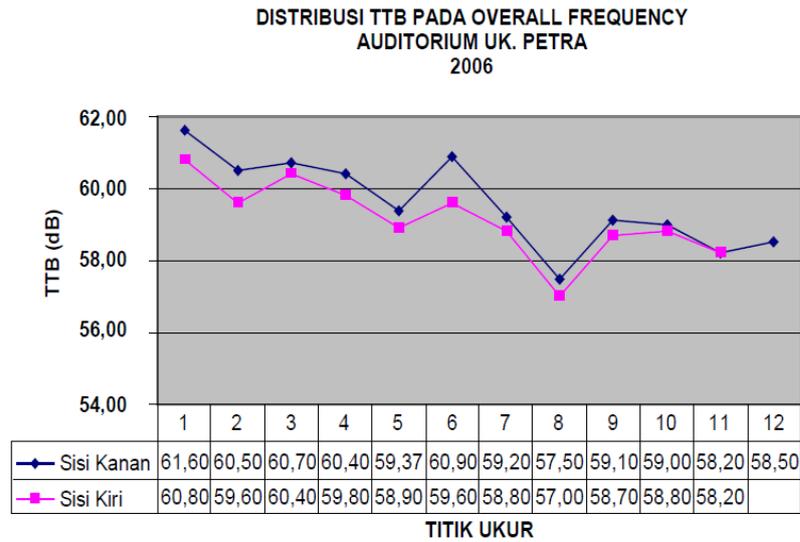
Tabel 2.1. Data pengukuran tingkat tekanan bunyi pada Masjid Al Markaz Al Islami Makassar.

Lokasi Titik Ukur	Titik Ukur	Sedikit Jamaah		Banyak Jamaah	
			Average		Average
Tengah Ruang Utama	TR1	68,1	68,1	77,1	76,2
	TR2	69,9		77,5	
	TR3	67,4		76,2	
	TR4	67,0		74,7	
	TR5	68,3		75,5	
Bawah Balkon	BB1	64,9	66,3	73,7	73,6
	BB2	66,5		74,0	
	BB3	66,3		72,5	
	BB4	66,8		74,4	
	BB5	66,9		73,2	
Balkon	BL1	64,2	65,3	73,4	73,8
	BL2	64,9		73,5	
	BL3	66,7		74,5	
	Minimum	64,2		72,5	
	Maksimum	69,9		77,5	
	Average	66,8		74,6	
	Max-Ave	3,1		2,9	
	Ave-Min	2,6		2,1	

Pada tabel di atas, SPL rata-rata *speech* ruang masjid pada kondisi sedikit jamaah adalah 66,8 dBA, sementara pada kondisi banyak jamaah adalah 74,6 dBA. Dengan demikian, kriteria kekerasan suara dalam ruang masjid Al Markaz Al Islami (yang diwakili oleh ke 13 titik ukur) sudah terpenuhi, meskipun secara subjektif terdapat area di luar dari titik ukur di mana suara terdengar lemah pada kondisi sedikit jamaah. Selanjutnya, penilaian terhadap distribusi SPL *speech* dalam ruang masjid didasarkan pada besar selisih nilai rata-rata SPL pada semua titik ukur terhadap nilai maksimum dan minimum. Angka yang menjadi batas penilaian pemerataan distribusi SPL adalah 3 dB. Secara teoritis, perubahan tingkat bunyi sebesar 3 dB efeknya mulai dapat dirasakan. Berdasarkan hasil pengukuran tingkat tekanan suara pada Tabel 2.1 selisih nilai rata-rata SPL terhadap nilai maksimum pada kondisi sedikit jamaah adalah 3,1 dBA, sementara pada kondisi banyak jamaah

adalah 2,9 dBA. Dengan demikian, distribusi suara *speech* dalam ruang masjid Al Markaz Al Islami belum merata pada kondisi sedikit jamaah.

Penelitian sejenis juga dilakukan oleh Indrani (2007) yaitu analisis kinerja akustik pada ruang auditorium multifungsi dengan studi kasus Auditorium Universitas Kristen Petra, Surabaya. Penelitian dilakukan dengan tiga pengukuran, yaitu pengukuran bising latar belakang (*background noise level*) menggunakan perangkat Sound Level Meter merek Rion tipe NL-31 yang terhubung dengan mikrofon sebagai sensor. Pengukuran distribusi tingkat tekanan bunyi (TTB) menggunakan alat pembangkit suara buatan (*pink noise*), yaitu *Sound Power Source* B&K tipe 4205 dan *Sound Source* HP 1001. Pengukuran respon impuls ruang dilakukan untuk mengetahui parameter akustik berupa waktu dengung atau *reverberation time* (RT, detik), waktu peluruhan (EDT, detik), *Definition* (D50, %), *Clarity* (C50, dB), *Clarity* (C80, dB), dan *Center Time* (TS, detik). Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis kinerja akustik ruang auditorium multifungsi di Universitas Kristen Petra menunjukkan bahwa kriteria kebisingan auditorium Universitas Kristen Petra (NC>45) belum dapat memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai ruang pertunjukan (NC<35) karena adanya suara bising yang masuk ke dalam ruang berasal dari 12 *unit outdoor (condensing)* AC di sisi dinding timur dan barat lantai 3 (balkon). Kriteria kebisingan (*noise criteria*) pada ruang auditorium masih bisa diturunkan ke batas yang direkomendasikan dengan menutup semua celah pada pintu dan jendela (bukaan), menggunakan barrier, dan bahan-bahan yang dapat meredam suara bising serta menanam lebih banyak pepohonan guna mereduksi kebisingan dari lalu lintas jalan raya.



Gambar 2.1 Grafik tingkat tekanan bunyi pada Auditorium Universitas Kristen Petra Surabaya.

Distribusi tingkat tekanan bunyi (TTB) sudah merata karena kondisi bentuk dan dimensi ruang ($2h/w$) sudah memenuhi persyaratan bagi akustik ruang auditorium. Hal ini terlihat dari perbedaan tingkat tekanan bunyi pada satu titik ukur dengan titik ukur yang terjauh tidak lebih dari 6 dB, sehingga tidak perlu menambahkan reflektor dalam ruang. Hasil rekapitulasi respon impuls ruang menunjukkan auditorium belum dapat memenuhi persyaratan sebagai auditorium multifungsi karena lebih memenuhi persyaratan untuk kegiatan yang berkarakter musik daripada *speech*. Walaupun sebenarnya belum bisa dikatakan ideal untuk suatu ruang konser dengan RT sebesar 2,2 detik.

Penelitian tentang penggunaan WIZ110SR juga telah banyak dilakukan seperti yang dilakukan Munarso (2014), yaitu sistem telemetri pemantauan suhu lingkungan menggunakan mikrokontroler dan jaringan wifi, penelitian ini menggunakan WIZ110SR untuk sistem telemetri yang digunakan sebagai perangkat pengubah protokol. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian sistem

transmisi dengan cara mengirimkan data angka tertentu dari mikrokontroler menuju komputer dengan menggunakan WIZ110SR dan dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi oleh radio Wi-Fi. Berdasarkan hasil pengujian dan akuisisi data sistem telemetri data telah berhasil mengirimkan data suhu dari sensor LM35 dengan koefisien korelasi linear 0,9988 terhadap termometer standar. Sistem telemetri ini juga dapat menampilkan dan menyimpan data suhu dalam database komputer serta menampilkan grafik pembacaan pada kecepatan pengiriman 9600 bps.

B. Gelombang Suara

1. Definisi Gelombang Suara

Gelombang bunyi atau suara merupakan gelombang longitudinal yang dapat merambat di dalam benda padat, benda cair dan gas (Halliday, 1998). Gelombang bunyi adalah gelombang tekanan dalam medium seperti udara, air, atau baja. Apabila mampatan dan renggangan gelombang mengenai selaput pendengaran, kita mendengar bunyi itu dengan catatan bahwa frekuensi gelombang harus di antara 20 Hz dan 20000 Hz. Gelombang yang berfrekuensi di atas 20 kHz dikenal sebagai gelombang ultrasonik, sedangkan yang mempunyai frekuensi di bawah 20 Hz disebut gelombang infrasonik (Bueche, 1989). Gelombang suara terjadi karena energi membuat partikel udara merapat dan merenggang secara bergantian (Ishaq, 2007). Kecepatan bunyi di udara berbeda tergantung jenis medium dan suhu medium. Kecepatan bunyi pada berbagai materi terlihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Kelajuan bunyi di berbagai materi pada suhu 27° C

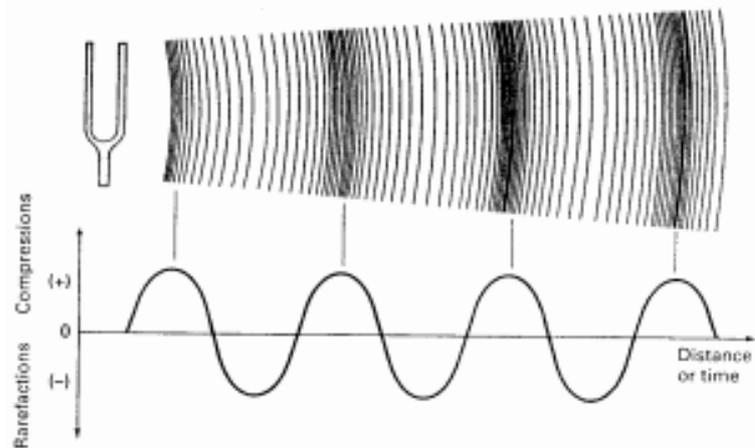
No	Jenis Medium	Kelajuan Bunyi (m/s)
1	Udara	343
2	Udara 0° C	331
3	Helium	1005
4	Hidrogen	1300
5	Air	1440
6	Air Laut	1560
7	Besi dan Baja	5000
8	Kaca	4500
9	Aluminium	5100
10	Kayu Keras	4000

Terlihat pada Tabel 2.2 kelajuan bunyi pada saat kita berbicara adalah sekitar 343 m/s (Giancoli, 1999). Kecepatan rambat gelombang suara di udara dirumuskan sebagai berikut:

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (2.1)$$

Dimana K adalah modulus Bulk dan ρ adalah massa jenis udara (Tipler, 1998).

Gelombang bunyi akan merambat ke segala arah di dalam medium (media). Jika seseorang berteriak, gelombang bunyi yang dihasilkan akan merambat ke segala arah di medium udara, sehingga semua orang yang ada disekitarnya mendengar bunyi yang dirambatkan itu. Partikel-partikel penyusun udara bergerak berosilasi (bolak-balik) untuk merambatkan gelombang bunyi itu.



Gambar 2.2. Partikel-partikel udara yang bergerak memadat dan merenggang (berosilasi) kekiri dan kekanan untuk merambatkan gelombang bunyi. Gelombang bunyi merambat dari kiri ke kanan pembaca.

Jarak yang dihasilkan oleh sepasang bagian udara yang renggang dan padat dinyatakan sebagai satu panjang gelombang, yaitu: satu panjang gelombang bunyi. Panjang gelombang disimbolkan dengan λ (lamda). Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai jarak sejauh λ disebut sebagai periode T. Sementara $1/T$ didefinisikan sebagai frekuensi (f). Jadi, frekuensi adalah banyaknya gelombang bunyi yang terjadi dalam selang waktu satu detik. Mengacu pada besaran-besaran tersebut di atas, maka kecepatan rambat gelombang bunyi pada suatu medium dapat dirumuskan.

$$v = \lambda f \quad (2.2)$$

dan persamaan gelombangnya dinyatakan sebagai:

$$y(t) = A \cos \frac{2\pi vt}{\lambda}$$

atau

$$y(t) = A \cos 2\pi ft \quad (2.3)$$

dengan $y(t)$ adalah besar pergeseran bolak-balik (kekiri dan kekanan) partikel-partikel udara setelah waktu t , A adalah amplitudo dan $2\pi ft$ adalah fase gelombangnya (Saragih, 2015).

2. Tingkat Intensitas Suara

Karena hubungan antara sensasi subyektif dari kenyaringan dan besaran fisika terukur “intensitas” ini, sehingga tingkat intensitas bunyi dinyatakan dengan skala logaritmik. Satuan skala ini adalah bel, dari Alexander Graham Bell (1847-1922), penemu telepon, atau jauh lebih umum, desibel (dB), yang merupakan $\frac{1}{10}$ bel (10 dB = 1 bel). Tingkat intensitas, β , dari bunyi didefinisikan dalam intensitasnya, I , sebagai berikut:

$$\beta \text{ (dalam dB)} = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (2.4)$$

dengan :

β = Tingkat intensitas bunyi (dB);

I = Intensitas suara/bunyi (Watt/m²);

I_0 = Intensitas bunyi referensi (10⁻¹²Watt/m²).

Tabel 2.3. Intensitas Berbagai Macam Bunyi

Sumber Bunyi	Tingkat Intensitas Bunyi (dB)	Intensitas (W/m ²)
Pesawat jet pada jarak 30 m	140	100
Ambang rasa sakit	120	1
Konser rock yang keras dalam ruangan	120	1
Sirine pada jarak 30 m	100	1 x 10 ⁻²
Interior mobil, yang melaju pada 90 km/jam	75	3 x 10 ⁻⁵
Lalu lintas jalan raya yang sibuk	70	1 x 10 ⁻⁵
Percakapan biasa, dengan jarak 50 cm	65	3 x 10 ⁻⁶
Radio yang pelan	40	1 x 10 ⁻⁸
Bisikan	20	1 x 10 ⁻¹⁰
Gemerisik daun	10	1 x 10 ⁻¹¹
Batas pendengaran	0	1 x 10 ⁻¹²

(Giancoli, 1999).

3. Interferensi Gelombang Suara

Paduan atau interferensi gelombang adalah superposisi 2 gelombang atau lebih yang berfrekuensi senilai sehingga terbentuk gelombang baru yang berbeda dengan masing-masing gelombang penyusunnya. Ditinjau 2 buah gelombang yang masing-masing berfrekuensi sudut (ω), dan amplitudo dari kedua gelombang itu juga senilai (A), serta salah satu gelombang itu merambat ke kanan pada simpangan y_1 dan yang lain ke kiri, pada simpangan y_2 . Persamaan simpangan gelombang berturut-turut yang merambat ke kanan dan ke kiri dinyatakan:

$$y_1 = A \sin \left(\omega t - \frac{\omega x}{v} \right); y_2 = A \sin \left(\omega t + \frac{\omega x}{v} \right) \quad (2.5)$$

hasil paduan (y) dari kedua simpangan gelombang (y_1 dan y_2) pada kawasan x yang sama merupakan gelombang stasioner, yaitu:

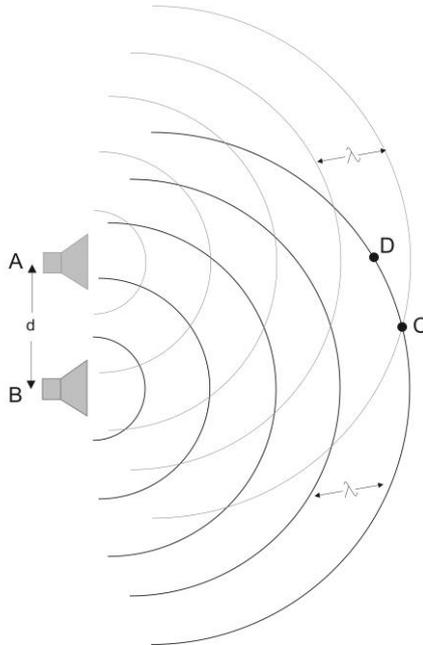
$$y = y_1 + y_2 = A \left[\sin \left(\omega t - \frac{\omega x}{v} \right) + \sin \left(\omega t + \frac{\omega x}{v} \right) \right]$$

atau

$$y = [2A \cos \left(\frac{\omega x}{v} \right)] \sin \omega t \quad (2.6)$$

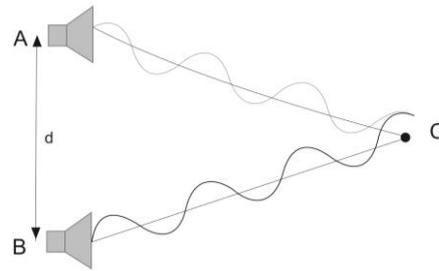
dimana $A_\omega = 2A \cos \left(\frac{\omega x}{v} \right)$ disebut amplitudo gelombang paduan dari y_1 dan y_2 paduan (interferensi) dari kedua gelombang itu bersifat konstruktif (penguatan) bila $A_\omega > A$, dan destruktif (pelemahan) bila $A_\omega < A$. Hasil paduan bersifat konstruktif maksimum bila $A_\omega = |2A|$, saat itu $\cos \left(\frac{\omega x}{v} \right) = \pm 1$ yang terjadi saat $\frac{\omega x}{v} = n\pi$; $n = 0, 1, 2, \dots$ atau berada di posisi $x_n = n \frac{\pi v}{\omega}$; $n = 0, 1, 2, \dots$ selain itu, A_ω memberikan paduan destruktif maksimum bila A_ω bernilai nol, saat itu $\cos \left(\frac{\omega x}{v} \right) = 0$ dan terjadi bila $\frac{\omega x}{v} = (2m-1) \frac{\pi}{2}$; $m = 1, 2, 3, \dots$ serta terjadi di posisi $x_m = \frac{(2m-1) \pi v}{2\omega}$; $m = 1, 2, 3, \dots$ (Priyambodo, 2009).

Sebagai salah satu contoh interferensi yang terjadi dengan gelombang bunyi, perhatikan dua pengeras suara yang besar, A dan B, yang berjarak d satu sama lain di atas panggung auditorium seperti Gambar 2.3.

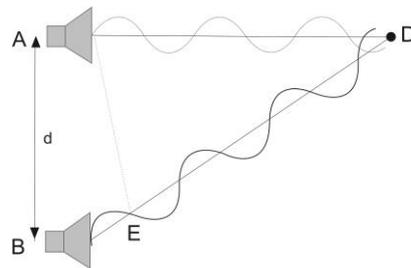


Gambar 2.3. Gelombang bunyi dari dua pengeras suara berinterferensi

Anggap bahwa kedua pengeras suara memancarkan gelombang bunyi dengan satu frekuensi yang sama dan berfase sama, yaitu ketika satu pengeras suara melakukan penekanan, yang lainnya juga. (abaikan pantulan dari dinding, lantai, dan sebagainya). Garis kurva pada diagram menyatakan puncak gelombang bunyi dari setiap pengeras suara. Gelombang bunyi puncak merupakan penekanan di udara sementara lembah yang berada diantara dua puncak merupakan penipisan. Seseorang atau detektor di titik, misalnya C, yang berjarak sama dari setiap pengeras suara, akan mendengar suara yang keras karena interferensi akan bersifat konstruktif. Di pihak lain misalnya, di titik D pada diagram, hanya sedikit suara yang terdengar karena terjadi interferensi destruktif.



(a)



(b)

Gambar 2.4. Gelombang bunyi dengan satu frekuensi dari pengeras suara A dan B berinterferensi konstruktif di C dan destruktif di D.

Pada Gambar 2.4a, dapat terlihat bahwa di titik C, terjadi interferensi konstruktif karena kedua gelombang pada saat yang bersamaan memiliki puncak atau secara bersamaan mempunyai lembah. Di Gambar 2.4b, gelombang dari pengeras suara B harus menempuh jarak yang lebih jauh dari gelombang yang berasal dari A. Dengan demikian gelombang dari B tertinggal dibelakang A. Pada diagram ini, dipilih titik E sehingga jarak ED sama dengan AD. Dengan demikian BE persis sama dengan setengah panjang gelombang bunyi tersebut, kedua gelombang akan tepat berbeda fase ketika mencapai D, dan terjadilah interferensi destruktif. Interferensi destruktif terjadi pada titik mana saja di mana jarak dari satu pengeras suara lebih jauh dari jaraknya dari pengeras suara yang lain dengan perbedaan tepat setengah panjang gelombang. Dapat disimpulkan seseorang yang duduk di titik D tidak mendengar apa-apa (atau hampir demikian), walaupun bunyi keluar dari kedua pengeras suara

tersebut. Jika satu pengeras dimatikan, bunyi dari pengeras suara yang lainnya akan terdengar jelas (Giancoli, 1999).

4. Standar Suara/Kebisingan

Berdasarkan peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia nomor 718/Men/Kes/Per/XI/1987 tentang kebisingan yang berhubungan dengan kesehatan, menyebutkan pembagian tingkat kebisingan menurut empat zona yaitu.

- 1) Zona A, adalah zona yang diperuntukan bagi tempat penelitian, rumah sakit, tempat perawatan kesehatan/sosial dan sejenisnya, tingkat kebisingan maksimal yang dianjurkan adalah 35 dB dan tingkat kebisingan maksimal yang diperbolehkan adalah 45 dB.
- 2) Zona B, adalah zona yang diperuntukan bagi perumahan, tempat pendidikan, rekreasi dan sejenisnya, tingkat kebisingan maksimal yang dianjurkan adalah 45 dB dan tingkat kebisingan maksimal yang diperbolehkan adalah 55 dB.
- 3) Zona C, adalah zona yang diperuntukan bagi perkantoran, perdagangan, pasar dan sejenisnya, tingkat kebisingan maksimal yang dianjurkan adalah 50 dB dan tingkat kebisingan maksimal yang diperbolehkan adalah 60 dB.
- 4) Zona D, adalah zona yang diperuntukan bagi industri, pabrik, stasiun KA, terminal bis dan sejenisnya, tingkat kebisingan maksimal yang dianjurkan adalah 60 dB dan tingkat kebisingan maksimal yang diperbolehkan adalah 70 dB (Permenkes, 1987).

C. Suara

1. Definisi Suara

Beberapa definisi dari suara atau bunyi menurut beberapa ahli adalah sebagai berikut.

- a. Suara berarti gangguan mekanik dalam medium gas, cair atau padat dikarenakan getaran molekul (Bell A, 1996).
- b. Bunyi adalah rangsangan yang diterima oleh telinga karena getaran pada media elastis (Suma'mur, 1984).
- c. Suara atau bunyi adalah variasi tekanan yang merambat melalui udara dan dapat dideteksi oleh telinga manusia (Confer, 1994).
- d. Menurut teori fisika, bunyi adalah rangsangan yang diterima oleh syaraf pendengaran yang berasal dari suatu sumber bunyi (Suma'mur, 1994).

2. Karakteristik Suara

Karakteristik dasar suara secara garis besar dibagi menjadi dua bagian.

- a. Karakteristik fisik gelombang suara

1. Frekuensi

Sifat dari bunyi ditentukan oleh frekuensi dan intensitasnya. Frekuensi merupakan jumlah perubahan tekanan dalam setiap detiknya atau frekuensi setiap detiknya dalam satuan *cycles per second* (cls) atau Hertz (Hz). Setiap orang relatif sedikit berbeda, tetapi respon pendengaran orang muda terletak pada frekuensi 16 - 2.000 Hz. Kecepatan rambatan suara bervariasi tergantung pada medium dan suhu, tetapi untuk kecepatan perambatan suara pada medium udara pada suhu 20 °C berkisar 344 m/s, pada kondisi tersebut maka panjang gelombang suara berkisar 0,344 m pada frekuensi 1000 Hz. Frekuensi bunyi yang terpenting adalah 250 Hz, 1.000 Hz,

2.000 Hz, 8.000 Hz (naik 1 oktaf). Frekuensi bunyi yang dapat didengar oleh telinga manusia adalah 16 - 20.000 Hz. Bunyi yang kurang dari 16 Hz dinamakan bunyi infrasonik dan bunyi yang lebih dari 20.000 Hz dinamakan bunyi ultrasonik. Frekuensi bunyi antara 250 - 3000 Hz pada tekanan suara 1×10^{-3} dyne/cm² sampai kurang dari $1,2 \times 10^{-2}$ dyne/cm² merupakan frekuensi dimana manusia dapat melakukan percakapan dengan baik, sehingga pada tekanan 1×10^{-3} dyne/cm² merupakan suara yang sudah tidak nyaman. Frekuensi 4000 Hz merupakan frekuensi yang paling peka ditangkap oleh pendengaran kita, biasanya ketulian pemaparan bising atau adanya gangguan pendengaran terjadi pada frekuensi ini (Wardhana, 2001).

2. Periode

Periode adalah waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus amplitudo, satuan periode adalah detik.

3. Amplitudo

Amplitudo sebuah gelombang suara adalah tingkat gerakan molekul-molekul udara dalam gelombang, yang sesuai terhadap perubahan dalam tekanan udara yang sesuai gelombang. Lebih besar amplitudo gelombang maka lebih keras molekul-molekul udara untuk menabrak gendang telinga dan lebih keras suara yang terdengar (Tambunan, 2005). Amplitudo gelombang suara dapat diekspresikan dalam istilah satuan absolut dengan pengukuran jarak sebenarnya perubahan letak molekul-molekul udara, perubahan tekanan atau energi yang terkandung dalam gelombang (Wardhana, 2001).

4. Panjang Gelombang

Salah satu satuan yang erat dengan frekuensi adalah panjang gelombang. Panjang gelombang merupakan jarak antara dua gelombang yang dekat dengan perpindahan dan kecepatan partikel yang sama dalam satu bidang medan bunyi datar. Sehingga dengan mengetahui kecepatan dan frekuensi bunyi dapat ditentukan panjang gelombangnya. Panjang gelombang suara yang dapat didengar telinga manusia mulai dari beberapa sentimeter sampai kurang lebih 20 meter (Wahyu, 2003).

b. Karakteristik mekanik gelombang suara adalah sebagai berikut.

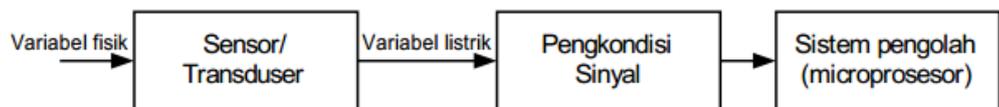
- 1) Pemantulan gelombang suara.
- 2) Penggabungan gelombang suara.
- 3) Kualitas suara.

Untuk menyatakan kualitas bunyi/suara digunakan pengertian sebagai berikut.

- a) Frekuensi bunyi, yaitu jumlah getaran per detik. Satuan bunyi dinyatakan dalam Herzt (Hz).
- b) Intensitas bunyi, yaitu perbandingan tegangan suara yang datang dan tegangan suara standar yang dapat didengar oleh manusia normal pada frekuensi 1000 Hz dinyatakan dalam desibel (dB) (Wardhana, 2001).

D. Sensor dan Transduser

Dalam kaitannya dengan sistem elektronis, Sensor dan transduser pada dasarnya dapat dipandang sebagai sebuah perangkat atau *device* yang berfungsi mengubah suatu besaran fisik menjadi besaran listrik, sehingga keluarannya dapat diolah dengan rangkaian listrik atau sistem digital (lihat Gambar 2.5). Dewasa ini, hampir seluruh peralatan modern memiliki sensor di dalamnya.



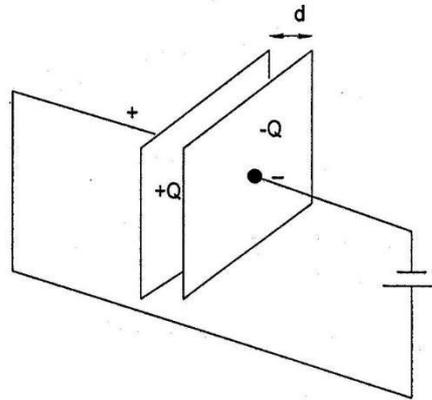
Gambar 2.5. Blok fungsional Sensor/Transduser

Terkait dengan perkembangan teknologi yang begitu luar biasa, pada saat ini, banyak sensor telah dipabrikasi dengan ukuran sangat kecil hingga orde nanometer sehingga menjadikan sensor sangat mudah digunakan dan dihemat energinya. Berdasarkan variabel yang diindranya, sensor dikategorikan kedalam dua jenis, yaitu sensor Fisika dan sensor Kimia. Sensor Fisika merupakan jenis sensor yang mendeteksi suatu besaran berdasarkan hukum-hukum fisika, yaitu seperti sensor cahaya, suara, gaya, kecepatan, percepatan, maupun sensor suhu. Sedangkan jenis sensor kimia merupakan sensor yang mendeteksi jumlah suatu zat kimia dengan jalan mengubah besaran kimia menjadi besaran listrik dimana di dalamnya dilibatkan beberapa reaksi kimia, seperti misal-nya pada sensor pH, sensor oksigen, sensor ledakan, serta sensor gas. Sensor digunakan dalam kehidupan sehari-hari, dimana aplikasinya mencakup berbagai bidang, yaitu seperti: *automobile*, mesin, kedokteran, industri, robot, maupun *aerospace*. Dalam lingkungan sistem kontrol dan robotika, sensor memberi fungsi seperti layaknya mata, pendengaran, hidung, maupun lidah yang kemudian akan diolah oleh controller sebagai otaknya (Setiawan, 2009).

E. Transduser Mikrofon

Mikrofon adalah suatu jenis transduser yang mengubah energi-energi akustik (gelombang suara) menjadi sinyal listrik. Salah satu jenis mikrofon yang sering digunakan untuk merekam suara adalah mikrofon jenis kondensator. Mikrofon ini

memiliki sensitivitas (kepekaan) yang baik terhadap gelombang suara. Mikrofon jenis kondensor ini bekerja berdasarkan prinsip kapasitansi kapasitor plat sejajar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6. Kapasitor plat sejajar

Berdasarkan Gambar 2.6 di atas terdapat dua buah plat kapasitor yang terpisah sejauh d dengan muatan yang berbeda-beda yaitu muatan positif (+) dan muatan negatif (-). Perbedaan muatan ini pada suatu titik tertentu menyebabkan terjadinya medan listrik yang sebanding dengan perubahan jarak pemisah kedua plat. Secara matematis medan listrik yang terjadi dapat dirumuskan pada Persamaan 2.7 berikut.

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (2.7)$$

Selanjutnya dari perubahan medan listrik tersebut akan menghasilkan beda potensial yang sebanding dengan perubahan jarak antara kedua plat. Dalam prinsip sebuah kapasitor nilai kapasitansi berubah terhadap jarak antara dua plat. Persamaan matematis yang menunjukkan hubungan antara dua plat kapasitor ditunjukkan pada Persamaan 2.8 berikut.

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.8)$$

Dari persamaan diatas besar kapasitansi kapasitor ditentukan oleh luas plat, jenis dielektrik, dan jarak antar plat. Selanjutnya hubungan antara kapasitansi kapasitor

dengan tegangan keluaran dari perubahan kapasitansi dapat dirumuskan dengan Persamaan 2.9 sebagai berikut.

$$V = \frac{Q}{C} \quad (2.9)$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan 2.8 ke Persamaan 2.9 diperoleh Persamaan 2.10, yaitu tegangan mikrofon.

$$V = \frac{Q}{A\epsilon_0} d \quad (2.10)$$

Dengan.

C = Kapasitansi kapasitor (F).

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

A = Luas penampang plat (m^2).

D = Jarak antara dua plat kapasitor (m).

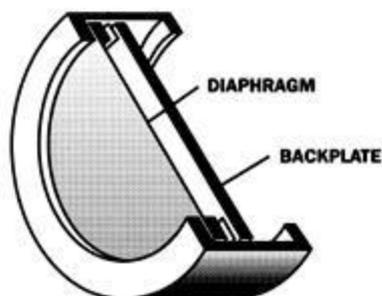
Q = Jumlah muatan (C).

V = Beda potensial (volt).

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

Pada mikrofon kapasitor, peristiwa pengisian dan pelucutan kapasitor memang terjadi. Satu plat kapasitor terbuat dari bahan yang sangat mengkilap yang merupakan diafragma mikrofon. Salah satu platnya difungsikan sebagai membran, dan plat satunya dibuat tetap. Prinsip kerja dari mikrofon *condenser* menggunakan prinsip pelucutan muatan dalam sebuah kapasitor. Dua lempeng konduktor yang

dipakai diberi polaritas yang berbeda sehingga berfungsi sebagai kapasitor dengan bahan dielektrik berupa udara yang nilainya 1.00059. Secara prinsip dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7. Bagian-bagian Mikrofon kondensor

Pada Gambar 2.7 diatas gelombang suara mengenai diafragma (satu plat) dan mengakibatkan terjadi getaran yang tergantung pada gelombang suara. Gerakan diafragma menyebabkan perubahan kapasitansi. Saat diafragma bergerak masuk, kapasitansi akan naik dan terjadi pengisian muatan. Saat diafragma bergerak keluar, kapasitansi turun dan terjadi pelucutan muatan. Karena gerakan diafragma dan kapasitansi tergantung pada gelombang suara, pengisian dan pelucutan muatan ini merepresentasikan gelombang suara (Cahyono, 2008).

F. Ethernet

Ethernet merupakan jenis perkabelan dan pemrosesan sinyal untuk data jaringan komputer yang dikembangkan oleh Robert Metcalfe dan David Boggs di Xerox Palo Alto Research Center (PARC) pada tahun 1972. Ethernet merupakan sebuah teknologi yang sudah dikenal oleh masyarakat luas sebagai *interface* yang digunakan untuk konektivitas perangkat komputer maupun laptop, hampir di setiap jaringan LAN (*Local Area Network*) di seluruh dunia.

Selain karena harganya terjangkau, teknologi *Ethernet* sangat mudah diadaptasi oleh perangkat seperti modem, *printer*, *scanner*, *faksimile*, *VoIP phone*, serta perangkat teknologi informasi lainnya. Sejalan dengan perkembangan teknologi dan semakin meningkatnya kebutuhan masyarakat akan layanan komunikasi data, teknologi *Ethernet* juga digunakan sebagai *interface* dari layanan *broadband data communication*, yang lebih dikenal dengan nama *Metro Ethernet*.

Arsitektur *Ethernet* diperkenalkan pada tahun 1970 oleh Xerox, dimana terdapat tiga jenis *Ethernet* yang dibedakan berdasarkan kecepatan daya akses datanya, yaitu.

1. *Ethernet*

Memiliki kecepatan akses data 10 Mbit/detik. Standar yang digunakan adalah 10BaseT, 10BaseF, 10Base2, dan 10Base5.

2. *Fast Ethernet*

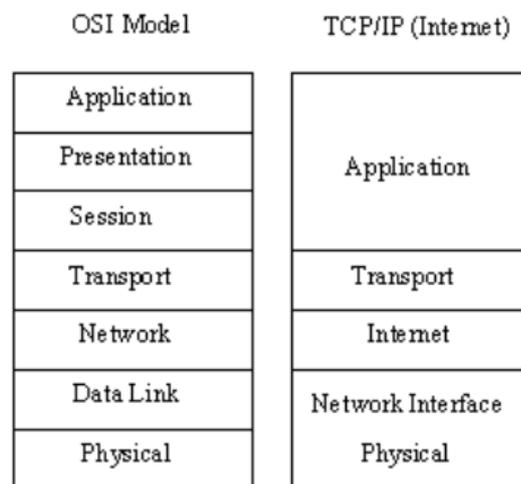
Memiliki kecepatan akses data 100 Mbit/detik. Standar yang digunakan adalah 100BaseFX, 100BaseT, 100BaseT4, dan 100BaseTX. Protokol ini cepat menjadi populer, karena memberikan kecepatan 10 kali lebih tinggi dibandingkan 10BaseT dengan harga yang relatif murah.

3. *Gigabit Ethernet*

Memiliki kecepatan akses data 1000 Mbit/detik atau 1 Gbit/detik. Standar yang digunakan adalah 1000BaseCX, 1000BaseLX, 1000BaseSX, dan 1000BaseT. *Gigabit Ethernet* merupakan protokol jenis *Ethernet* terbaru yang mendukung kecepatan 1000 Mbps (Umam, 2012).

G. Protokol TCP/IP

Protokol TCP/IP merupakan protokol standar yang digunakan dalam jaringan komputer global yang dikenal dengan internet. Protokol TCP/IP terdiri dari 4 *layer*, yaitu aplikasi, *transport*, internet dan *network interface physical*. Protokol TCP/IP dibangun mengikuti model referensi OSI (*open system interconnect*), adapun perbandingan model referensi OSI dengan implementasi TCP/IP digambarkan dalam bagan berikut.



Gambar 2.8. Perbandingan model OSI dengan implementasi TCP/IP

Protokol TCP pada *layer transport* dan protokol IP pada *layer network* menjadi tulang punggung komunikasi data pada protokol TCP/IP (Hartono, 2014).

H. WIZ110SR

WIZ110SR merupakan modul *gateway* yang mengubah protokol RS-232 ke dalam TCP/IP protokol. Sehingga dimungkinkan melakukan pengukuran, pengelolaan, dan pengendalian perangkat melalui jaringan berbasis *Ethernet* dan TCP/IP dengan menghubungkan peralatan yang ada dengan serial RS-232. Dengan kata lain,

WIZ110SR merupakan sebuah protokol pengubah data serial dari piranti ke dalam protokol TCP/IP dan sebaliknya.



Gambar 2.9. WIZ110SR

Fitur utama yang dimiliki WIZ110Sr adalah sebagai berikut.

- a. Koneksi langsung ke serial.
- b. Menyediakan *Firmware* yang terbaru.
- c. Sistem stabil dan handal dengan menggunakan *chip* W5100.
- d. Mendukung PPPoE *Connection*.
- e. Mendukung konfigurasi serial.
- f. Mendukung *password* untuk keamanan.
- g. 10/100 *Ethernet* dan max 230 Kbps *Serial Interface*.

Ketika data diterima dari port serial, itu dikirim ke W5100 oleh MCU. Dan jika data dikirim dari *port Ethernet*, maka data diterima oleh penyangga internal W5100, dan dikirim ke *port* serial oleh MCU. MCU dapat dikonfigurasi oleh pengguna menggunakan software *WIZ110SR konfigurasi tools* (Wiznet Co, 2008).

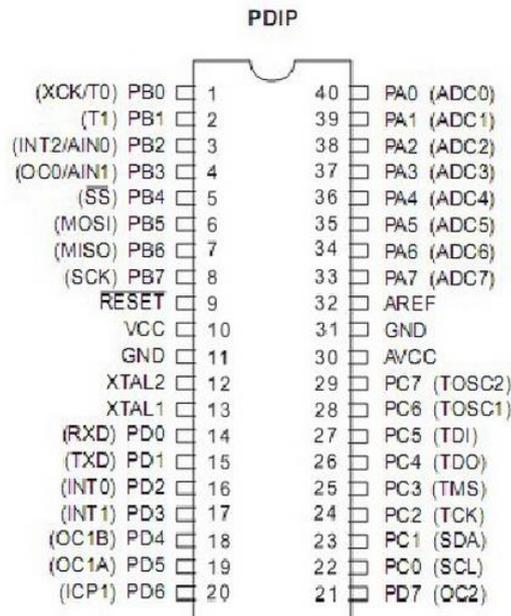
I. Mikrokontroler ATMEGA 16

AVR merupakan seri mikrokontroler *Complementary Metal Oxide Semiconductor* (CMOS) 8-bit buatan Atmel berbasis arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computer*). Hampir semua instruksi pada program dieksekusi dalam satu siklus *clock*. AVR mempunyai 32 register *general-purpose, timer/counter* fleksibel dengan mode *compare*, interupsi *internal* dan *eksternal*, serial UART, *programmable Watchdog Timer*, *power saving mode*, ADC dan PWM. AVR pun mempunyai *In-System Programmable (ISP) Flash on-chip* yang memungkinkan memori program untuk diprogram ulang (*read/write*) dengan koneksi secara serial yang disebut *Serial Peripheral Interface* (SPI). AVR memiliki keunggulan dibandingkan dengan mikrokontroler lain, keunggulan mikrokontroler AVR yaitu memiliki kecepatan dalam mengeksekusi program yang lebih cepat, karena sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 siklus *clock* (lebih cepat dibandingkan mikrokontroler keluarga MCS 51 yang memiliki arsitektur *Complex Instruction Set Compute*). Atmega16 mempunyai *throughput* mendekati 1 *Millions Instruction Persecond* (MIPS) perMHZ, sehingga membuat konsumsi daya menjadi rendah terhadap kecepatan proses eksekusi perintah. Beberapa keistimewaan dari AVR ATmega16 adalah sebagai berikut.

1. Mikrokontroler AVR 8 bit yang memiliki kemampuan tinggi dengan konsumsi daya rendah.
2. Arsitektur RISC dengan *throughput* mencapai 16 MIPS pada frekuensi 16 MHZ.
3. Memiliki kapasitas *Flash* memori 16 Kbyte, EEPROM 512 Byte dan SRAM 1 Kbyte.
4. Saluran I/O sebanyak 32 buah, yaitu *Port A, Port B, Port C* dan *Port D*.

5. CPU yang terdiri dari 32 buah register.
6. Unit interupsi dan eksternal.
7. *Port* USART untuk komunikasi serial.
8. Fitur *peripheral*.
 - a. Tiga buah *Timer/Counter* dengan kemampuan perbandingan (*compare*).
 - 1) Dua buah *Timer/Counter* 8 bit dengan *Prescaler* terpisah dan *Mode Compare*;
 - 2) Satu buah *Timer/Counter* 16 bit dengan *Prescaler* terpisah, *Mode Compare* dan *Mode Capture*.
 - b. *Real Time Counter* dengan *Oscillator* tersendiri.
 - c. Empat kanal PWM.
 - d. 8 kanal ADC.
 - 1) 8 *Single-ended Channel* dengan keluaran hasil konversi 8 dan 10 resolusi (register ADCH dan ADCL);
 - 2) 7 *Diferrential Channel* hanya pada kemasan *Thin Quad Flat Pack* (TQFP);
 - 3) 2 *Differential Channel* dengan *Programmable Gain*.
 - e. Antarmuka *Serial Peripheral Interface (SPI) Bus*.
 - f. *Watchdog Timer* dengan *Oscillator Internal*.
 - g. *On-chip Analog Comparator*
9. *Non-volatile program memory*

Konfigurasi *Pin* AVR ATmega16 dapat dilihat seperti pada Gambar 2.10 dibawah ini.



Gambar 2.10. Konfigurasi kaki (*Pin*) ATmega16

Konfigurasi *pin* ATmega16 dengan kemasan 40 *pin Dual In-Line Package* (DIP) dapat dilihat pada Gambar 8. Dari gambar diatas dapat dijelaskan fungsi dari masing-masing *pin* ATmega16 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/output* dua arah (*full duplex*) dan selain itu merupakan *pin* masukan ADC.
4. *Port B* (PB0-PB7) merupakan *pin input/output* dua arah (*full duplex*) dan selain itu merupakan *pin* khusus, seperti dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.4. Fungsi Khusus *Port B*

<i>Pin</i>	Fungsi Khusus
PB0	XCK (USART External Clock Input/Output) T0 (Timer/Counter0 External Counter Input)
PB1	T1 (Timer/Counter1 External Counter Input)
PB2	INT2 (External Interrupt 2 Input) AIN0 (Analog Comparator Negative Input)
PB3	OC0 (Timer/Counter0 Output Compare Match Output) AIN1 (Analog Comparator Negative Input)
PB4	SPI (Slave Select Input)
PB5	MOSI (SPI Bus Master Output/Slave Input)
PB6	MISO (SPI Bus Master Input/Slave Output)
PB7	SCK (SPI Bus Serial Clock)

5. *Port C* (PC0-PC7) merupakan *pin input/output* dua arah (*full duplex*) dan selain itu merupakan *pin khusus*, seperti dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.5. Fungsi Khusus *Port C*

<i>Pin</i>	Fungsi Khusus
PC0	SCL (Two-Wire Serial Bus Clock Line)
PC1	SDA (Two-Wire Serial Bus Data Input/Output Line)
PC2	TCK (Joint Test Action Group Test Clock)
PC3	TMS (JTAG Test Mode Select)
PC4	TDO (JTAG Data Out)
PC5	TDI (JTAG Data In)
PC6	TOSC1 (Timer Oscillator pin 1)
PC7	TOSC2 (Timer Oscillator pin 2)

6. *Port D* (PD0-PD7) merupakan *pin input/output* dua arah (*full duplex*) dan selain itu merupakan *pin khusus*, seperti dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.6. Fungsi Khusus *Port D*

<i>Pin</i>	Fungsi Khusus
PD0	RXD (USART <i>Input Pin</i>)
PD1	TXD (USART <i>Output Pin</i>)
PD2	INT0 (<i>External Interupt 0 Input</i>)
PD3	INT1 (<i>External Interupt 1 Input</i>)
PD4	OC1B (<i>Timer/Counter1 Output Compare B Macth Output</i>)
PD5	OC1A (<i>Timer/Counter1 Output Compare A Macth Output</i>)
PD6	ICP (<i>Timer/Counter1 Input Capture Pin</i>)
PD7	OC2 (<i>Timer/Counter2 Output Compare Macth Output</i>)

7. RESET merupakan pin yang digunakan untuk me-reset mikrokontroler
8. XTAL1 dan XTAL2, merupakan *pin* masukan *external clock*
9. AVCC merupakan *pin* masukan tegangan untuk ADC
10. REF merupakan *pin* masukan tegangan referensi untuk ADC.

(Rani, 2015).

J. Sound Level Meter Leutron SL-4011

Sound level meter merupakan alat ukur untuk menghitung tingkat kebisingan suara. Dalam pengukuran menggunakan *sound level meter*, ada beberapa faktor yang membuat gelombang suara yang terukur dapat bernilai tidak sama dengan nilai intensitas gelombang suara sebenarnya. Faktor tersebut adalah adanya angin yang bertiup dari berbagai arah, pengaruh kecepatan angin dan posisi tempat pengukuran yang terbuka menyebabkan nilai yang terukur oleh *sound level meter* tidak akurat.



Gambar 2.11. *Sound level meter model SL-4011*

Sound level meter SL-4011 mempunyai karakteristik sebagai berikut.

1. Fitur-fitur

beberapa fitur dasar yang dimiliki oleh alat ini antara lain:

- a. LCD yang besar mempermudah untuk pembacaan.
- b. Jaringan pembobotan frekuensi dirancang untuk memenuhi standar IEC 61672 tipe 2.
- c. Mode pembobotan waktu dinamis karakteristik (cepat/lambat).
- d. AC/DC keluaran untuk fungsi masukkan perangkat lain.
- e. Dibangun dengan adj (adjust) VR yang memungkinkan proses kalibrasi dengan mudah.
- f. Menggunakan mikrofon kondenser untuk akurasi yang tinggi dan stabilitas jangka panjang.
- g. Fungsi penahan maksimum untuk menyimpan nilai maksimum pengukuran.
- h. Indikator peringatan ketika kelebihan dan kekurangan masukkan.
- i. LCD menggunakan konsumsi daya rendah dan memiliki tampilan cerah dalam kondisi cahaya terang ambient (rata-rata).
- j. Dapat digunakan tahan lama, umur komponen lama dan berat ringan dengan menggunakan *casing* plastik ABS.
- k. Peringatan baterai rendah.

2. Spesifikasi

Spesifikasi dasar *sound level meter leutron SL-4011* terlihat pada tabel berikut.

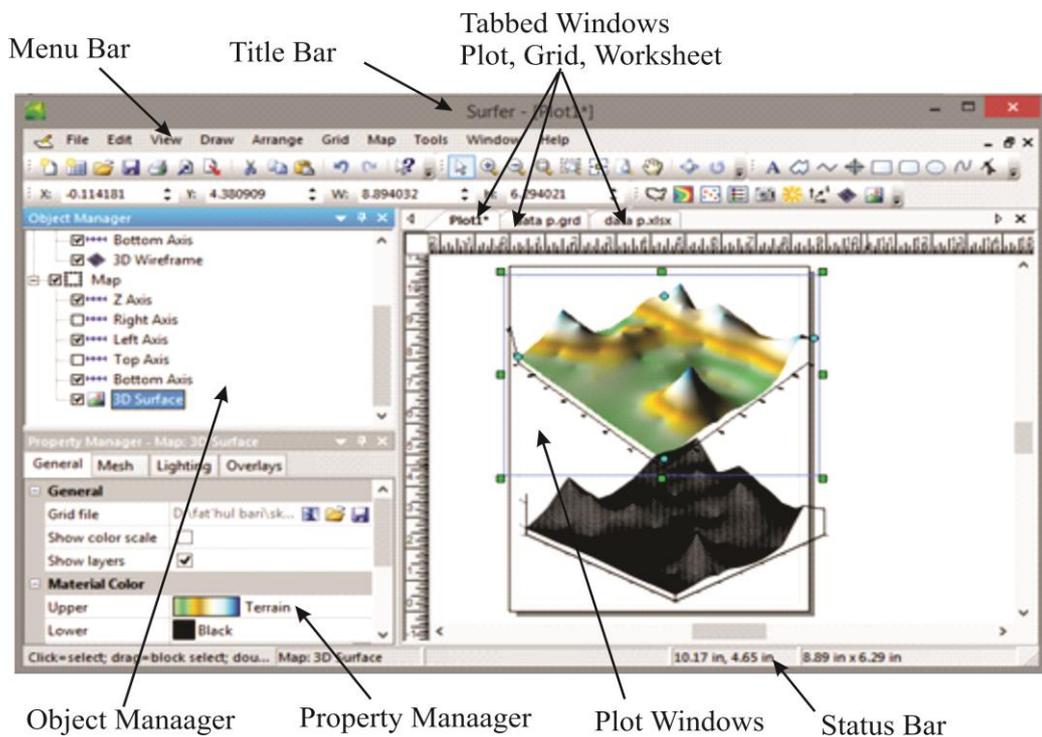
Tabel 2.7. Spesifikasi *sound level meter leutron SL-4011*

Layar	18 mm (0.7") LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>), 3½ digits
Fungsi	dB (A & C pemilih frekuensi), pemilih waktu (cepat/lambat) penahan maksimum, AC & DCkeluaran
Range pengukuran	3 range, 30-130 dB,masukkan hanya berupa sinyal
Resolusi	0.1 Db
Akurasi	Pemilih frekuensi memenuhi IEC 61672 tipe 2, kalibrasi sinyal masukkan pada 94 dB (31.5 Hz-8kHz) dan akurasi untuk pemilih A mengikuti spesifikasi 31.5 Hz - ±3 Db, 63 Hz ±2 dB, 125 Hz - ±1.5 dB, 250 Hz - ±1.5 dB, 500 Hz - ±1.5 dB, 1 kHz - ±1.5 dB, 2 kHz - ±2 dB, 4 kHz - ±3 dB, 8 kHz - ± 5 Db
Frekuensi kalibrasi	31.5 Hz – 8000 Hz B & K (Bruel & Kjaer), multi fungsi kalibrator model 4226
Mikrophon	Microphone kondensator elektris
Ukuran mikrophon	½ inch ukuran standar
Range penyeleksi	30 – 80 dB, 50 – 100 dB, 80 – 130 dB, 50 dB pada setiap langkah, dengan lebih dari & di bawah range indikasi
Pemilih waktu	Cepat t=200 ms, lambat t=500 ms Range cepat disimulasikan untuk daya respon pemilihan waktu pendengaran manusia. Range lambat sangat mudah digunakan untuk mendapatkan nilai rata-rata dari <i>vibration sound level</i> .
Kalibrasi	Dibangun dengan kalibrasi uar VR, mudah untuk dikalibrasi dengan obeng luar
Sinyal keluaran	Keluaran AC – AC 0.5 Vrms berkorespondensi dengan step pendengaran. Keluaran DC – DC 0.3-1.3 VDC, 10 mV per dB. Impedansi keluaran – 600 ohm.
Terminal keluaran	3.5 terminal keluaran phone yang disediakan untuk koneksi dengan analyzer, perekam level, dan tape recorder.
Temperatur operasi	0° hingga 32° C (32° F hingga 122° F)
Kelembapan operasi	Kurang dari 80 % RH
Power supply	Battery 006P DC 9V (<i>heavy duty type</i>)
Konsumsi daya	Approx. DC 6 Ma
Ukuran	255 x 70 x 28 mm (10.0 x 2.8 x 1.1 inch)
Berat	
Aksesoris standar	Instruksi manual 1 buah
Aksesoris tambahan	94 dB <i>sound calibrator</i> model SC-941 94 dB/114 dB <i>sound calibrator</i> model SC-942 Kotak pembawa model CA-06

(Leutron, 2015).

K. Surfer Golden Software

Surfer merupakan sebuah perangkat lunak yang banyak digunakan dalam pembuatan kontur, pembuatan grid, pemetaan wilayah oleh orang saintis dan peneliti guna menghasilkan peta dengan cepat dan mudah. Dalam pemakaiannya, perangkat lunak ini memiliki beberapa bagian dasar yang dipaparkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Tampilan perangkat lunak surfer dan bagian-bagiannya

Kegunaan dari bagian-bagian perangkat lunak dapat dijelaskan sebagai berikut.

- Title Bar* merupakan bagian yang menunjukkan halaman yang aktif. Penamaan halaman yang aktif ditambahkan dengan ekstensi .SRF.
- Menu Bar* berisikan baris perintah yang digunakan untuk menjalankan *surfer*.
- Tabbed Document* merupakan bagian dimana *surfer* dapat mendukung untuk jenis *tabbed document*, plot dokumen, lembar kerja, dan *editor node dokumen*.

- d. *Toolbar* merupakan bagian yang berisikan tombol icon proses dalam surfer. Pengguna hanya perlu memilih icon yang akan digunakan. Icon ini dapat diatur melalui menu *tool-customize*.
- e. *Status Bar* merupakan bagian yang akan menunjukkan status kemajuan, presentasi penyelesaian dan waktu tersisa.
- f. *Object Manager* berisikan hierarki dari semua objek dalam dokumen yang ditampilkan dalam *tree-view*.
- g. *Desktop* merupakan bagian belakang dari worksheet dan grid editor.
- h. *Border* merupakan bagian tepi dari lembar kerja atau *worksheet*.

Surfer dapat digunakan untuk pembuatan beberapa peta diantaranya.

1. *Base map*

Base map merupakan peta yang akan menampilkan batas-batas pada peta dan berisi kurva, poin, teks, atau gambar. *Base map* dapat dilapisi dengan peta lain untuk memberikan rincian seperti jalan, sungai, lokasi kota dan kontur suatu daerah. Penggambaran base map terlihat pada Gambar 2.13.

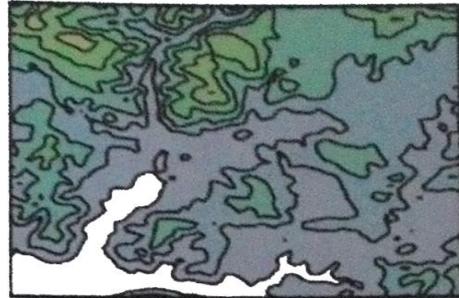


Gambar 2.13. Bentuk *base map*

2. *Countour Map*

Countour map merupakan representasi dua dimensi dari tiga buah data. Dalam peta kontur, untuk nilai z yang sama akan ditarik garis kontur. Garis kontur ini dapat ditampilkan dalam warna atau pola. *Countour map*

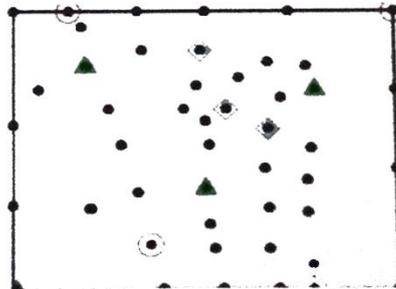
merupakan peta yang digunakan untuk menggambarkan ketinggian dari suatu peta yang digambarkan kedalam pola warna sebagai petunjuk tingkat ketinggiannya. Bentuk dari peta kontur terlihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Bentuk Countour map

3. *Post map* dan *classed post map*

Post map digunakan untuk menunjukkan lokasi data berada yang dipresentasikan dengan simbol-simbol. *Classed post map* digunakan untuk menandai suatu lokasi penting yang menjadi titik acuan pada suatu peta. Bentuk *post map* dan *classed post map* dapat terlihat pada Gambar 2.15.

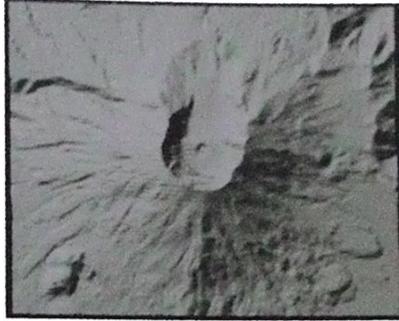


2.15. Bentuk *post map* dan *classed post map*

4. *Shaded relief map*

Shaded relief map merupakan peta arsiran batuan. Pewarnaan peta batuan didasarkan pada orientasi kemiringan relative terhadap sumber cahaya. Dalam hal ini orientasi surfer dihitung setiap sel grid dan pemantulan cahaya sumber pada permukaan grid. Peta *shaded relief map* menampilkan arsiran

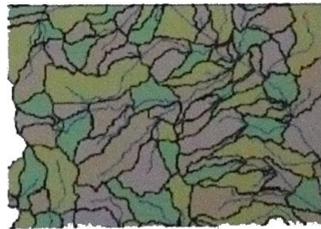
batuan atau tanah dari suatu daerah kedalam bentuk dua dimensi. Bentuk *shaded relief map* terlihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16. Bentuk *shaded relief map*

5. *Watershed map*

Watershed map merupakan peta tampilan aliran air dalam sebuah daerah. Aplikasi *watershed map* adalah untuk menggambarkan arah aliran air sungai pada suatu daerah. Bentuk *watershed map* terlihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17. Bentuk *watershed map*

6. *3D Surface map*

3D surface map merupakan sebuah peta dalam bentuk tiga dimensi. Dalam jenis peta ini akan tampak representasi dari suatu wilayah yang dipetakan.



Gambar 2.18. Bentuk 3D surface (User's Guide, 2012).