
Perancangan Perangkat Lunak Efek Doppler dengan Metode Simulasi

Sukiman ¹⁾, Mantri Pasaribu ²⁾

STMIK IBBI

Jl. Sei Deli No. 18 Medan, telp.061-4567111, Fax. 061-4527548

email : sukiman.liu@gmail.com

Abstrak

Kadang-kadang suara yang didengar bisa kecil maupun besar. Ketika sebuah sumber bunyi dan pendengar dalam keadaan bergerak relatif, frekuensi bunyi yang didengar oleh pendengar tidak sama dengan frekuensi asli sumber bunyi tersebut. Bila sebuah mobil pemadam kebakaran mendekati pendengar maka frekuensi sirenenya akan terdengar makin tinggi dan sebaliknya jika mobil tersebut menjauhi pendengar maka nada bunyi terdengar makin rendah. Hal ini tidak berlaku jika baik pendengar dan sumber bunyi diam ditempat. Pada kasus ini pendengar akan mendengar frekuensi bunyi yang sama dikeluarkan oleh sumber bunyi. Selain itu, kecepatan udara juga mempengaruhi frekuensi. Gejala seperti ini disebut efek *Doppler*. Untuk memahami lebih lanjut efek *Doppler* tentang bunyi digunakan metode simulasi, dimana besar frekuensi dari sumber bunyi dapat didengar oleh pendengar dari jarak tertentu. Dengan metode simulasi ini, maka didapat bahwa semakin dekat sumber bunyi ke pendengar dan sebaliknya maka frekuensi akan semakin besar dan kebalikannya.

Kata kunci: Kecepatan udara, frekuensi, Efek Doppler

Abstract

Sometime heard voice can be big and also small. When a source of hearer and sound in a state of moving relative, sound frequency heard by hearer unlike original frequency is source of sound. When a fire engine come near hearer hence its siren frequency will be heard to more and more high conversely if the car avoid hearer hence sound tone heard to more and more to lower. This not applicable matter if hearer goodness and silent sound source in place. At this case of hearer will hear sound frequency which is same to be released by source of sound. Besides, speed of air also influence frequency. Symptom like this referred by Doppler effect. To comprehend furthermore of Doppler effect about sound used by simulation method, where is big of frequency from source of sound can be heard by hearer of certain distance. With this simulation method, hence got that closer the source of sound to hearer conversely hence frequency will be ever greater and the reverse.

Keywords: Airspeed, the frequency, Doppler Effect

1. Pendahuluan

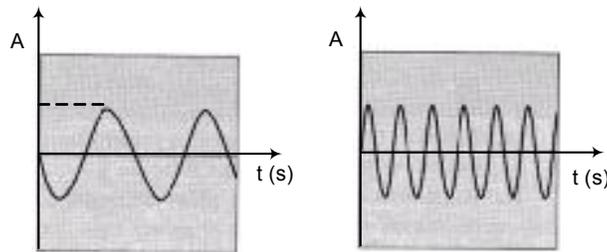
Ketika sedang menunggu bus kota atau kendaraan umum yang lain di sebuah halte bus, tiba-tiba dari kejauhan terdengar sirene dari mobil pemadam kebakaran. Makin lama, suara sirene itu semakin keras, sampai pada suatu saat ketika mobil pemadam kebakaran tersebut melewati pendengar maka akan terdengar bunyi sirene secara berangsur-angsur melemah. Ketika sebuah sumber bunyi dan pendengar dalam keadaan bergerak relatif, frekuensi bunyi yang didengar oleh pendengar tidak sama dengan frekuensi asli sumber bunyi tersebut. Bila sebuah mobil pemadam kebakaran mendekati pendengar maka frekuensi sirenenya akan terdengar makin tinggi dan sebaliknya jika mobil tersebut menjauhi pendengar maka nada bunyi terdengar makin rendah. Hal ini tidak berlaku jika baik pendengar dan sumber bunyi diam ditempat. Pada kasus ini pendengar akan mendengar frekuensi bunyi yang sama dikeluarkan oleh sumber bunyi. Gejala seperti ini disebut efek *Doppler*. Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh frekuensi bunyi yang didengar maka

dirancang suatu simulasi efek *Doppler* terhadap suatu objek yang bergerak dalam suatu garis lurus dan melingkar dengan kecepatan konstan.

Bunyi merupakan salah satu contoh gelombang longitudinal, yaitu gelombang yang memiliki arah getaran searah dengan rambatannya. Bunyi termasuk gelombang longitudinal. Akibatnya, bunyi hanya dapat merambat melalui medium, seperti zat padat, cair, dan gas. Bunyi tidak dapat merambat melalui ruang hampa udara (vakum). Bunyi merambat melalui suatu medium dengan cara memindahkan energi kinetik dari satu molekul ke molekul lainnya dalam medium tersebut. Secara umum cepat rambat bunyi lebih cepat di dalam zat padat bila dibandingkan dalam zat cair dan gas. Ini diakibatkan oleh jarak antar molekul dalam zat padat yang lebih pendek dibandingkan dengan yang di dalam zat cair dan gas, sehingga transfer energi kinetik lebih cepat terjadi. Bunyi yang merambat melalui suatu medium dapat mengalami pemantulan, pembiasan, interferensi, dan difraksi. Peristiwa tersebut membuktikan bahwa bunyi merambat sebagai gelombang. [1]

Gelombang bunyi di udara secara normal adalah getaran dari udara yang memaksa gendang telinga untuk bergetar. Akan tetapi, gelombang bunyi juga dapat menjalar ke bahan-bahan lainnya. Dua buah batu berbenturan secara bersamaan di bawah permukaan air dapat didengar oleh seorang perenang di bawah permukaan, getaran dipancarkan melalui air menuju telinga. Ketika Anda meletakkan telinga di atas permukaan tanah, Anda dapat mendengar bunyi kereta api atau truk yang mendekati. Untuk kasus ini, gendang telinga Anda tidak langsung menyentuh tanah, tetapi gelombang longitudinal ditransmisikan oleh tanah yang disebut juga gelombang bunyi, karena getarannya menyebabkan telinga bagian luar dan udara di dalamnya bergetar. Jelas sekali, bahwa bunyi tidak dapat berpindah tanpa adanya bahan.

Frekuensi gelombang adalah banyak getaran yang dihasilkan dalam selang waktu 1 detik oleh suatu partikel pada gelombang. Dalam hal membicarakan musik, tinggi bunyi sangat berhubungan dengan frekuensi. *Bunyi tinggi memiliki frekuensi tinggi dan bunyi rendah memiliki frekuensi rendah*. Suara wanita memiliki tinggi bunyi yang lebih tinggi (frekuensi yang lebih tinggi) dibandingkan dengan suara pria seperti pada gambar 1. [1]



Gambar 1 Bunyi dengan frekuensi rendah (kiri) dan frekuensi tinggi (kanan)

Secara umum cepat rambat bunyi lebih cepat di dalam zat padat bila dibandingkan dalam zat cair dan gas. Ini diakibatkan oleh jarak antar molekul dalam zat padat yang lebih pendek dibandingkan dengan yang di dalam zat cair dan gas, sehingga transfer energi kinetik lebih cepat terjadi. Bunyi yang merambat melalui suatu medium dapat mengalami pemantulan, pembiasan, interferensi, dan difraksi. Peristiwa tersebut membuktikan bahwa bunyi merambat sebagai gelombang. Energi yang dihasilkan dari bunyi disebut sebagai energy bunyi. Pernahkah kamu mendengar petasan yang meledak? Tentu telingamu menjadi sakit karena suara ledakan petasan tersebut. Bunyi yang dihasilkan petasan sangat besar, itulah yang disebut sebagai energy bunyi yang besar. Kita dapat mengukur kekuatan bunyi dengan satuan decibel. Tingkat kekuatan bunyi yang lebih besar dari 120 desibel dapat merusak pendengaran manusia.

Frekuensi-frekuensi ini dinamakan frekuensi wajar, *frekuensi karakteristik*, atau *frekuensi eigen* dari sistem tersebut. Pada umumnya, frekuensi-frekuensi eigen tidak membentuk sebuah deret harmonik, walaupun beberapa di antaranya dapat dihubungkan sebagai perbandingan bilangan-bilangan bulat. Di dalam semua kasus ini kita mempunyai gelombang tegak, dan daerah-daerah tertentu dari benda-benda tersebut tetap diam sepanjang waktu. Titik-titik simpul ini adalah kurva-kurva di dalam benda-benda yang berdimensi dua dan permukaan-permukaan di dalam benda-benda yang berdimensi tiga. [2]

Gelombang adalah getaran yang merambat, baik melalui medium ataupun tidak melalui medium. Perambatan gelombang ada yang memerlukan medium, seperti gelombang tali melalui tali dan ada pula yang tidak memerlukan medium yang berarti bahwa gelombang tersebut dapat merambat melalui vakum (hampa udara), seperti gelombang listrik magnet dapat merambat dalam vakum. Perambatan gelombang dalam

medium tidak diikuti oleh perambatan media, tapi partikel-partikel mediumnya akan bergetar. Perumusan matematika suatu gelombang dapat diturunkan dengan peninjauan penjalaran suatu pulsa. Dilihat dari ketentuan pengulangan bentuk, gelombang dibagi atas gelombang periodik dan gelombang non periodik. [4]

Gelombang memindahkan energi dari satu tempat ke tempat lain. Sewaktu gelombang melalui medium, energi dipindahkan dalam bentuk energi getaran dari partikel satu ke partikel lain dalam medium. Untuk gelombang sinusoidal dengan frekuensi f , partikel-partikel bergetar harmonis sederhana sewaktu gelombang melalui partikel-partikel tersebut sehingga setiap partikel memiliki energi.

Berdasarkan sumber getarnya, tanpa disertai dengan medium perantaranya, gelombang dapat diklasifikasikan dalam dua kategori, yaitu gelombang mekanik dan gelombang elektromagnetik. Gelombang mekanik adalah sesuatu yang dapat dibentuk dan dirambatkan dalam zat perantara bahan elastis. Sebagai contoh khusus diantaranya adalah gelombang bunyi dalam gas, dalam zat cair dan dalam zat padat. Gelombang Elektromagnetik perambatan secara transversal antara medan listrik dan medan magnet ke segala arah.. Gelombang ultrasonik banyak digunakan sebagai alat deteksi, misalnya untuk mengukur kedalaman laut dan mendeteksi janin di dalam rahim ibu. Untuk mengukur kedalaman laut, suatu pulsa gelombang ultrasonik dikirimkan dari sebuah kapal ke bawah laut oleh sebuah alat yang disebut fathometer. Efek layangan yaitu fenomena yang terjadi jika dua gelombang itu mempunyai amplitude yang sama tetapi frekuensinya berbeda sedikit. Hal ini misalnya terjadi pada dua garpu tala yang frekuensinya sedikit berbeda yang dibunyikan bersama-sama. Dan apabila dua deretan gelombang yang frekuensinya sama berjalan sepanjang garis yang sama di dalam arah-arah yang berlawanan maka gelombang tegak akan dibentuk sesuai dengan prinsip superposisi.

Sumber gelombang bunyi adalah sesuatu yang bergetar. Hampir semua benda yang bergetar menimbulkan bunyi. Misalnya dawai gitar atau biola tampak bergetar sewaktu dibunyikan. Bunyi yang dihasilkan oleh getaran dawai menyerupai superposisi dari gelombang- gelombang sinusoidal berjalan. Gelombang berdiri pada dawai dan gelombang bunyi yang merambat di udara mempunyai kandungan harmonik (tingkatan di mana terdapat frekuensi yang lebih tinggi dari frekuensi dasar) yang serupa. Kandungan harmonik bergantung pada cara dawai itu digetarkan.

Resonansi merupakan keadaan yang terjadi pada suatu benda ketika pada benda itu datang gaya periodik yang frekuensinya sama dengan frekuensi alamiah benda tersebut. Akibat keadaan resonansi, benda akan bergetar dengan amplitudo terbesar yang mungkin dapat terjadi karena gaya periodik itu. Resonansi dapat juga berarti bergetarnya suatu benda karena getaran benda lain. Fenomena resonansi dapat juga ditunjukkan dengan gelombang longitudinal (bunyi) dapat ditimbulkan oleh garpu tala. Resonansi memegang peranan penting dalam instrument musik. dawai tidak dapat menghasilkan nada yang nyaring jika tidak dilengkapi dengan ruang resonansi. Ruang resonansi ini dapat beresonansi dengan dawai yang bergetar di dekatnya. Tanpa ruang resonansi, gitar dan biola tidak akan menghasilkan nada yang nyaring dan merdu. Sumber pada terompet adalah getaran bibir peniupnya. Jika terompet tidak dilengkapi dengan ruang resonansi yang berupa pipa dengan bentuk tertentu, getaran bibir saja tidak akan menghasilkan nada yang nyaring dan merdu. Instrumen musik gamelan juga menggunakan ruang resonansi yang terletak di bagian bawah. Demikian juga angklung bambu yang sangat terkenal dari jawa barat. Bila seorang pendengar bergerak menuju sebuah sumber bunyi yang stasioner, maka titi nada (frekuensi) bunyi yang terdengar adalah lebih tinggi daripada bila pendengar tersebut berada di dalam keadaan diam. Bila pendengar bergerak menjauhi sumber stationer tersebut, maka dia akan mendengarkan titi nada yang lebih rendah daripada bila pendengar tersebut berada di dalam keadaan diam. Doppler (1842) menyatakan bahwa “sumber dan pengamat bergerak sepanjang garis yang menghubungkan sumber dan pengamat medium melalui dimana bunyi berjalan. Untuk menganalisis Efek Doppler pada gelombang bunyi, kita perlu menentukan hubungan antara pergeseran frekuensi, kecepatan sumber dan kecepatan pendengar relatif terhadap medium (biasanya udara) yang dilalui gelombang bunyi tersebut. Dengan demikian seorang pengamat yang bergerak menuju sumber bunyi yang diam akan mendengar frekuensi yang lebih tinggi daripada frekuensi sumber bunyi yang sebenarnya. Sebaliknya seseorang pengamat yang bergerak menjauhi sumber bunyi akan mendengar frekuensi yang lebih rendah daripada frekuensi sumber bunyi yang sebenarnya. Efek Doppler adalah efek yang penting di dalam cahaya. Laju cahaya begitu besar sehingga hanya sumber astronomik atau sumber atomik, yang mempunyai kecepatan- kecepatan tinggi dibandingkan dengan sumber makroskopik bumi, yang memperlihatkan efek Doppler yang sangat nyata. Efek astronomik terdiri dari pergeseran panjang gelombang yang diamati dari

cahaya yang dipancarkan oleh elemen-elemen yang ada pada elemen astronomik yang bergerak dibandingkan terhadap panjang gelombang yang diamati dari elemen-elemen yang sama ini di bumi. Konsekuensi dari efek Doppler yang mudah diamati adalah pelebaran (penyebaran frekuensi) radiasi yang dipancarkan dari gas-gas yang panas. Pelebaran ini berasal dari kenyataan bahwa atom-atom atau molekul-molekul yang memancarkan cahaya bergerak di dalam semua arah dan laju yang berbeda-beda relatif terhadap alat pengamat sehingga penyebaran frekuensi akan dideteksi. [1]

Gelombang memindahkan energi dari satu tempat ke tempat lain. Sewaktu gelombang melalui medium, energi dipindahkan dalam bentuk energi getaran dari partikel satu ke partikel lain dalam medium. Untuk gelombang sinusoidal dengan frekuensi f , partikel-partikel bergetar harmonis sederhana sewaktu gelombang melalui partikel-partikel tersebut sehingga setiap partikel memiliki energi. [1]

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

$$k = m\omega^2 \text{ dan } \omega = 2\pi f$$

$$E = \frac{1}{2} m \omega^2 y^2 = 2 \pi^2 m f^2 y^2 \dots \dots \dots (2)$$

Telinga manusia adalah suatu detektor (pengenal) bunyi yang sangat peka, mampu mendengar bunyi dalam selang intensitas yang sangat lebar. Telinga manusia dapat mendengar bunyi mulai dari intensitas $10^{-12} \text{ W m}^{-2}$ sampai dengan 1 W m^{-2} atau dalam rentang 10^{12} W m^{-2} . Intensitas bunyi di bawah $10^{-12} \text{ W m}^{-2}$ tidak terdengar oleh telinga manusia normal, sedang di atas 1 W m^{-2} akan terasa sakit di telinga. Intensitas bunyi terkecil yang masih dapat didengar oleh telinga manusia dinamakan *intensitas ambang pendengaran*. Intensitas bunyi terbesar yang masih dapat didengar oleh telinga manusia tanpa rasa sakit dinamakan *intensitas ambang perasaan*. Walaupun telinga kita peka untuk rentang intensitas bunyi yang sangat lebar, kuat bunyi yang terdengar oleh telinga manusia tidak berbanding lurus dengan besar intensitas bunyi. Misalkan diambil intensitas awal 10^{-4} W m^{-2} . Jika dinaikkan intensitas bunyi menjadi dua kalinya ($2 \times 10^{-4} \text{ W m}^{-2}$), ternyata telinga kita tidak mendengar bunyi yang dua kali lebih kuat. Bahkan, telinga merasa mendengar bunyi yang hampir sama kuatnya. Berdasarkan percobaan, telinga manusia mendengar bunyi yang empat kali lebih kuat jika intensitas bunyi dijadikan seratus kalinya. Hubungan seperti ini adalah hubungan *logaritmik*. Kuat bunyi berbanding lurus dengan intensitas bunyi. Oleh karena itu adalah lazim untuk mengusahakan suatu skala pengukuran yang juga logaritmik. Besaran itu dinamakan *taraf intensitas bunyi* atau *intensitas relatif*, yang secara matematis dinyatakan oleh persamaan (3) [1].

$$TI = 10 \log \frac{I}{I_0} \dots \dots \dots (3)$$

dimana : I = intensitas bunyi (W m^{-2})
 I_0 = intensitas standar (W m^{-2}) = $10^{-12} \text{ W m}^{-2}$

Difraksi bunyi adalah pembelokan bunyi karena menemui rintangan. Ketika teman Anda di A berteriak memanggil Anda maka Anda yang berada di sisi lain belokan jalan (di B) dapat mendengar teriakan tersebut. Hal ini membuktikan bahwa gelombang bunyi pun dapat membelok (difraksi).

Perubahan temperatur pada reaktor terjadi pada bahan bakar dan pendingin atau moderator. Koefisien reaktivitas temperatur bahan bakar adalah perubahan pada reaktivitas teras akibat perubahan temperatur bahan bakar. Koefisien reaktivitas temperatur bahan bakar pada kebanyakan reaktor bernilai negatif, sebagai akibat dari fenomena yang disebut efek Doppler. Efek Doppler ini adapt dijelaskan sebagai berikut: tampang lintang neutron mengalami resonansi pada tingkat energi tertentu. Pada inti-inti atom berat, misalnya Uranium, resonansi ini hampir seluruhnya disebabkan oleh absorpsi, bukan hamburan. [5]

Efek *Doppler* adalah pancaran frekuensi yang beragam yang dapat dibedakan secara jelas, seperti suatu gelombang cahaya atau suara, sebagaimana sumber gelombang mendekati atau menjauhi pendengar. Efek tersebut diberi nama dari ahli fisika Australia Christian Johann *Doppler*, yang pertama kali menyatakan prinsipnya pada tahun 1842, Prinsip *Doppler* menjelaskan mengapa, jika suatu sumber bunyi dari frekuensi konstan sedang bergerak menuju pendengar, suara akan terdengar dengan frekuensi yang lebih tinggi dan sebaliknya jika sumber bergerak menjauh akan terdengar lebih rendah. Perubahan dalam hal frekuensi ini dapat didengar oleh pendengar seperti bunyi peluit pada lokomotif dari suatu stasiun kereta api ataupun pada dua kereta api saling bergerak berlawanan arah. Menurut *Doppler* prinsipnya ini dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$f' = f \frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} \dots\dots\dots(4)$$

Di mana: f' adalah frekuensi yang didengar oleh pendengar

f adalah frekuensi sumber bunyi

v adalah kecepatan suara di dalam medium

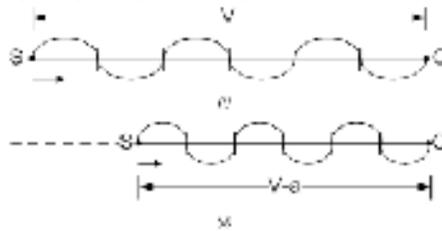
v_p adalah kecepatan pendengar

v_s adalah kecepatan sumber bunyi

Tanda + untuk pendengar yang mendekati sumber bunyi

Tanda – untuk pendengar yang menjauhi sumber bunyi

Azas *Doppler* dalam bunyi adalah asimetri. Ketika sumber bergerak mendekati pendengar dengan kecepatan yang pasti, suara ini akan berbeda apabila pendengar bergerak mendekati pendengar juga dengan kecepatan yang sama. Tetapi hal ini tidak berlaku dalam cahaya. Azas *Doppler* pada cahaya adalah simetri. Ada beberapa kondisi atau arah pergerakan baik sumber bunyi maupun pendengar yaitu yang pertama sumber bunyi bergerak mendekati pendengar yang diam, pada kondisi ini frekuensi yang dikeluarkan oleh sumber bunyi akan terdengar lebih besar seperti pada gambar 2.[1]



Gambar 2. Bentuk Gelombang Sumber Bunyi Mendekati Pendengar Yang Diam

Yang kedua, sumber bunyi bergerak menjauhi pendengar yang diam, pada kondisi ini frekuensi yang dikeluarkan oleh sumber bunyi akan terdengar kecil. Yang ketiga pendengar mendekati sumber bunyi yang diam, pada kondisi ini frekuensi yang didengar oleh pendengar akan lebih besar. Yang keempat pendengar menjauhi sumber bunyi yang diam, pada kondisi ini frekuensi yang didengar oleh pendengar akan lebih kecil.



Gambar 3. Bentuk Gelombang Sumber Bunyi Menjauhi Pendengar Yang Diam

Jika suatu gelombang memancar dari sumber gelombang ke segala arah, maka gelombangnya merupakan gelombang tiga dimensi. Contohnya adalah gelombang bunyi yang memancar di udar, gelombang gempa bunyi, dan gelombang cahaya. Jika medium yang dilalui gelombang tiga dimensi adalah isotropik (sama dalam segala arah), maka muka gelombang yang dipancarkan berbentuk bola. Intensitas bunyi di bawah $10^{-12} \text{ W m}^{-2}$ tidak terdengar oleh telinga manusia normal, sedang di atas 1 W m^{-2} akan terasa sakit di telinga. Intensitas bunyi terkecil yang masih dapat didengar oleh telinga manusia dinamakan *intensitas ambang pendengaran*. Intensitas bunyi terbesar yang masih dapat didengar oleh telinga manusia tanpa rasa sakit dinamakan *intensitas ambang perasaan*. Manusia memiliki keterbatasan pendengaran. Telinga kita umumnya hanya dapat menerima frekuensi bunyi antara 20 Hz sampai 20 000 Hz. Daerah frekuensi yang terletak dalam daerah itu disebut *frekuensi audio* (frekuensi dengar). Frekuensi bunyi yang lebih rendah dari 20 Hz tidak dapat didengar. Daerah frekuensi yang lebih rendah dari 20 Hz disebut *frekuensi infrasonik*. Frekuensi bunyi yang lebih tinggi dari 20 000 Hz juga tidak dapat kita dengar. Daerah frekuensi itu disebut *frekuensi ultrasonik*.

Walaupun telinga kita peka untuk rentang intensitas bunyi yang sangat lebar, kuat bunyi yang terdengar oleh telinga manusia tidak berbanding lurus dengan besar intensitas bunyi. Misalkan diambil intensitas awal 10^{-4} W m^{-2} . Jika dinaikkan intensitas bunyi menjadi dua kalinya ($2 \times 10^{-4} \text{ W m}^{-2}$), ternyata telinga kita tidak mendengar bunyi yang dua kali lebih kuat. Bahkan, telinga merasa mendengar bunyi yang hampir sama kuatnya. Berdasarkan percobaan, telinga manusia mendengar bunyi yang empat kali lebih kuat jika intensitas bunyi dijadikan seratus kalinya.

Pada kondisi pertama, kedua, ketiga dan keempat, baik pendengar atau sumber bunyi salah satunya diam. Untuk kondisi kelima sampai kondisi ketujuh, baik sumber bunyi ataupun pendengar sama-sama bergerak. Yang kelima, sumber bunyi bergerak mengejar pendengar, pada kondisi ini frekuensi yang didengar oleh pendengar adalah relatif terhadap kecepatan sumber bunyi. Yang keenam, sumber bunyi dan pendengar sama-sama mendekat, pada kondisi ini frekuensi yang didengar oleh pendengar akan lebih cepat besar dibanding pada kondisi pertama maupun ketiga. Yang terakhir adalah sumber bunyi dan pendengar sama-sama menjauhi, pada kondisi ini frekuensi yang didengar oleh pendengar akan lebih cepat kecil dan hilang dibanding pada kondisi kedua maupun keempat.

Besarnya frekuensi yang didengar oleh pendengar selain bergantung pada kecepatan baik sumber bunyi dan kecepatan pendengar maka frekuensi yang didengar juga tergantung kepada kecepatan angin dan arah angin tersebut. Bayangkan angin bergerak dengan kecepatan w pada arah perambatan suara, kecepatan suara akan menjadi $(v + w)$. Secara keseluruhan, dalam penempatan v , $(v - w)$ harus digunakan. Apabila angin bertiup berlawanan arah dengan arah perambatan suara, kecepatan suara akan menjadi $(v - w)$. Secara keseluruhan, dalam penempatan v , $(v - w)$ harus digunakan. [1].

Apabila hubungan tersebut dibuat dalam satu rumus dapat ditunjukkan pada persamaan rumus 5:

$$f_p = \frac{(\pm v \pm v_p)}{(\pm v \pm v_s)} f_s \dots\dots\dots(5)$$

Dimana: v = kecepatan angin
 v_p = kecepatan pendengar
 v_s = kecepatan sumber bunyi
 f_s = frekuensi sumber bunyi

2. Metode Penelitian

Tahapan analisis sistem merupakan tahapan yang sangat penting karena kesalahan di dalam tahapan ini akan menyebabkan kesalahan pada tahapan selanjutnya. Proses analisis sistem dalam pengembangan sistem merupakan suatu prosedur yang dilakukan untuk pemeriksaan masalah dan penyusunan pemecahan masalah yang timbul serta membuat spesifikasi sistem yang baru. Adapun tahapan dari analisis sistem dapat digambarkan dalam bentuk algoritma sebagai berikut:

Algoritma Form Utama

1. *Load Form* Pembelajaran, *Form* Simulasi Efek *Doppler* 3D, *Form* Memilih *Output Device* dan *Form* *About*.
2. Lakukan pengecekan penekanan *mouse* pada menu.
3. Jika dipilih menu 1 maka tampilkan *Form* Pembelajaran. Jika dipilih menu 2 maka tampilkan *Form* Simulasi Efek *Doppler* 3D. Jika dipilih menu 3 maka tampilkan *Form* *About*.

Algoritma *Form* Simulasi Efek *Doppler* 3D

1. Inisialisasi *Sound Card*
2. Inisialisasi objek BASS
3. Set Faktor *Doppler* = 1.0, *Rolloff* = 1.0, *Distance* = 0.1
4. Jika ditekan tombol “Tambah” tampilkan kotak dialog *open*.
5. Jika ditekan tombol “Play” maka ambil semua parameter Faktor *Doppler*, *Rolloff*, *Distance*, *EAX Environment*, pergerakan, dan *Set* pada objek BASS. Lakukan *update* pada LED *level* frekuensi. Lakukan animasi pergerakan.
6. Jika ditekan tombol “Close” tutup semua objek BASS dan *file* yang sedang dimainkan.

Algoritma *Form* *Output Device*

1. Lakukan pengecekan pada *output device sound card*.
2. Tampilkan hasil pengecekan pada *list*.
3. Jika *user* menekan tombol “OK” lakukan pengecekan apakah *check box* “Kualitas Rendah” ditandai bila ya maka jalankan prosedur *play in mono* jika tidak jalankan prosedur *play in stereo*.
4. Tutup *form*.

Algoritma Efek *Doppler* 3D

```

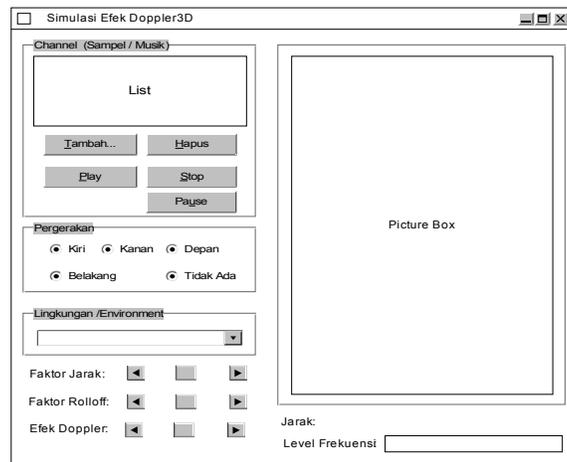
GetSoundPosition(x1, y1, z1) // ambil posisi sumber bunyi
GetObjectPosition(z2, y2, z2) // ambil posisi pendengar
x = abs(x2 - x1); y = abs(y2 - y1); z = abs(z2 - z1)
VolX = (x / xMax) * 100
VolY = (y / yMax) * 100
VolZ = (z / zMax) * 100
Volume = ((VolX + VolY + VolZ) / 300) * 100
for( i = 0; i <= MaxSamples; i++)
    processed_buf[i]=unprocessed_buf[i] * Volume

```

3. Hasil dan Analisis

Program simulasi efek *Doppler* ini dirancang dengan menampilkan materi yang berhubungan dengan teori efek *Doppler*, simulasi dengan menampilkan kasus-kasus berkenaan dengan teori, contoh-contoh soal-soal dan latihan.

Pada bagian simulasi program dapat menampilkan simulasi efek *Doppler* dengan memilih jenis lingkungan dan pengaturan efek *rolloff*, efek *Doppler*, dan faktor jarak. Program dirancang dalam bahasa *Visual Basic* dengan memanfaatkan komponen-komponen intrinsik yang terdapat pada *Visual Basic*. Rancangan *form* simulasi efek *Doppler* 3D. Bentuk rancangan *form* ini dapat seperti pada gambar 4.

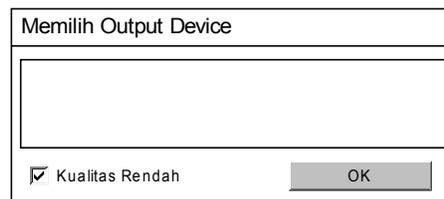


Gambar 4. Simulasi Efek Doppler 3D

Komponen utama pada *form* ini adalah *frame*, *list box*, *command button*, *option button*, *picture box*, LED Meter, *combo box*, dan *horizontal slider*. *Form* ini dapat diakses melalui menu “Simulasi” memunculkan *form* simulasi untuk mensimulasi efek *Doppler* pada suatu ruangan atau lingkungan tertentu. Bagian “List” digunakan untuk menampung format *file audio* berjenis Wave dan MP3. Tombol “T**A**mah” untuk menambah *file* ke dalam list dengan memunculkan sebuah kotak dialog. Tombol “H**A**pus” digunakan untuk menghapus *file* dari list. Tombol “P**L**ay” digunakan untuk memainkan *file audio*. Pilihan pada tombol “S**T**op” untuk menghentikan *file* yang sedang dimainkan.

Untuk mensimulasi suara bergerak dari sisi mana maka dapat dipilih pada bagian pergerakan yaitu dari sisi kiri, kanan, belakang, dan tidak ada pergerakan atau sumber bunyi diam (animasi pergerakan dilambangkan dengan sebuah lingkaran merah). Bagian *slider* “Faktor Jarak” digunakan untuk menset suatu nilai besaran faktor jarak. Jika diset ke 0.0 berarti tidak ada tambahan faktor jarak. Semakin besar nilai hingga mendekati nilai 10.0 berarti merupakan nilai maksimum untuk faktor jarak. Untuk pengaturan ini jika diset ke nilai 1.0 berarti berjarak 1 meter, 0.3 berarti dalam satuan *feet* atau 30 cm, jika diset 0 berarti tidak terdapat jarak antara pengamat dengan sumber bunyi.

Form output device ini berguna untuk memilih jenis *output device sound* dalam hal ini merupakan *output device* dari *sound card*. *Form* ini dirancang dengan tiga jenis komponen yang pertama adalah *list box* untuk mengisi peralatan *output device* yang tersedia dari sistem komputer dan kedua adalah sebuah *checkbox* “Kualitas Rendah” yang apabila ditandai maka program akan menghasilkan suara dengan kualitas rendah tetapi prosesnya lebih cepat.

Gambar 5. Rancangan *Form Output Device*

Form terakhir adalah *form about* yang berfungsi untuk menjelaskan nama program beserta nama penulis. Bagian dari *form* ini dibuat dengan komponen *picture box*, *label* dan *command button*. *Picture box* nantinya akan berisi sebuah *icon* bergambar mikrofon.

Untuk lebih memahami efek Doppler 3D dengan metode simulasi ini akan diperlihatkan dengan penggunaan rumus (5), untuk beberapa kondisi yang dimungkinkan, contoh: sebuah mobil bergerak searah dengan kecepatan angin dengan kecepatan 20 m/s menjauhi pendengar dan membunyikan dengan frekuensi 100 Hz. Apabila pendengar diam dan kecepatan udara pada suhu tersebut adalah 340 m/s. Maka besarnya frekuensi yang didengar oleh pendengar adalah:

$$f_p = \frac{(\pm v \pm v_p)}{(\pm v \pm v_s)} f_s$$

$$f_p = \frac{(340)}{(340 + 20)} \times 72$$

$$f_p = \frac{340}{360} \times 72$$

$$f_p = 68 \text{ Hz}$$

Selain contoh tersebut, maka dapat dibuat kondisi sesuai dengan kondisi yang mendekati sama dengan kenyataan, misalnya sebuah mobil ambulance membunyikan bunyi sirine dengan frekuensi 120 Hz dan laju mobil 40 m/s dimana kecepatan udara pada saat itu berlawanan dengan kecepatan mobil kemudian arah angin berlawanan dengan arah gerak mobil dengan kecepatan angin pada saat itu adalah 320 m/s mendekati pendengar. Pendengar bergerak juga mendekati sumber bunyi dengan kecepatan 10 m/s, besarnya bunyi yang didengar oleh pendengar adalah:

$$f_p = \frac{(\pm v \pm v_p)}{(\pm v \pm v_s)} f_s$$

$$f_p = \frac{(-v - v_p)}{(-v + v_s)} f_s$$

$$f_p = \frac{(-320 - 10)}{(-320 + 40)} \times 120$$

$$f_p = \frac{-330}{-280} \times 120$$

$$f_p = 141.43 \text{ Hz}$$

Tanda minus menunjukkan arah kecepatan yang berlawanan dengan sumber bunyi atau berlawanan dengan arah kecepatan pada objek yang ditinjau, seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Sumber bunyi dan pendengar sama-sama mendekat.

Bagian *slider* “Faktor *Rolloff*” digunakan untuk menset suatu nilai besaran faktor *rolloff* (perbedaan suara yang didengar oleh telinga kiri dan kanan). Jika diset ke 0.0 berarti tidak ada tambahan faktor *rolloff*. Semakin besar nilai hingga mendekati nilai 10.0 berarti merupakan nilai maksimum untuk faktor *rolloff*. Jika diset 0.0 berarti tidak terdapat efek *rolloff*, 1.0 setara dengan efek *rolloff* pada dunia nyata. Nilai 2.0 berarti dua kali efek *rolloff* pada dunia nyata dan seterusnya. Nilai 10.0 berarti efek *rolloff* maksimum. Bagian *slider* “Efek *Doppler*” digunakan untuk menset suatu nilai besaran efek *Doppler*. Jika diset ke 0 berarti tidak ada tambahan efek *Doppler*. Semakin besar nilai hingga mendekati nilai 100 berarti merupakan nilai maksimum untuk efek *Doppler*. Efek *Doppler* dalam program simulasi ini dibuat dengan cara suatu sumber bunyi yang muncul berubah frekuensinya ketika bergerak menuju pengamat atau menjauhi pengamat. Jarak pendengar dan kecepatan suara diperhitungkan dalam kalkulasi efek ini. Jika faktor *Doppler* diset 0.0 berarti tidak terdapat efek *Doppler*. Nilai 1.0 berarti efek *Doppler* sesuai dengan dunia nyata, 2.0 berarti 2 kali dunia nyata dan seterusnya hingga maksimum bernilai 10.0.

Bagian “*Level Frekuensi*” ini berfungsi menampilkan frekuensi dari *sound* saat dilakukan simulasi dengan cara ditampilkan pada sebuah LED Meter di sampingnya. Bagian terakhir adalah *combo box* untuk memilih jenis lingkungan. Pilihan lingkungan atau *environment* yang tersedia adalah: *off, generic, padded cell, room, bathroom, living room, stone room, auditorium, concert hall, cave, arena, hangar, carpeted hallway, hallway, stone corridor, alley, mountain, city, forest, quarry, plain, parking lot, sewer pipe, underwater, drugged, dizzy, dan psychotic*.

4. Kesimpulan

Dari hasil dan analisis dapat diambil beberapa kesimpulan tentang efek *Doppler* dengan metode simulasi yaitu kasus-kasus efek *Doppler* yang menyebabkan perbedaan frekuensi yang didengar mencakup kasus pada sumber bunyi mendekati pendengar, sumber bunyi menjauhi pendengar, pendengar mendekati sumber bunyi dan sebaliknya pendengar mendekati sumber bunyi. Kemudian efek *Doppler* merupakan salah satu efek yang timbul yang berkaitan dengan bunyi yang merambat, kecepatan rambatan bunyi dalam medium dan sistem pendengaran pada manusia. Frekuensi yang didengar oleh pendengar tidak hanya tergantung pada kecepatan antara sumber bunyi dan kecepatan dari pendengar, tetapi juga tergantung kepada faktor lain seperti apakah sumber bunyi atau pendengar dalam keadaan diam dan arah kecepatan angin. Sama seperti kita berbicara dengan lawan bicara walaupun dalam keadaan diam, frekuensi yang didengar bisa lebih kecil karena faktor arah angin, sehingga perlu ditingkatkan frekuensi. Pada efek *Doppler* 3D metode simulasi untuk dunia nyata terdapat beberapa faktor tambahan lagi misalkan lingkungan tempat sumber bunyi terdengar, faktor jarak, dan faktor *rolloff*. Dengan adanya program simulasi ini maka bagaimana cara kerja dari efek *Doppler* atas frekuensi yang terdengar dalam dunia nyata dapat dipahami. Selain itu bagian materi dan animasi dalam program ini membantu *user* yang ingin mempelajari hitungan mengenai soal-soal yang berkaitan dengan efek *Doppler*. Selain itu, perangkat lunak dapat digunakan untuk mengajarkan materi fisika dengan topik mengenai efek *Doppler*.

Daftar Pustaka

- [1.] Kanginan. M., 2006, Fisika 1B Untuk SMA Kelas XII Semester 2, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [2.] Lubis. A.M. dan Lizalidiawati, Rancang-bangun alat penentuan kecepatan bunyi di udara berbasis instrumentasi, Jurnal Gradien Vol.1 No.1 Januari 2005 : 10-15
- [3.] Suhada. R. T., Fisika Industri Modul 5, Pusat Pengembangan Bahan Ajar, Universitas Mercu Buana. Tanggal akses: 4 Maret 2013
- [4.] Ruwanto. B., 2007. Fisika 1 untuk SMA/MA Kelas X, Penerbit Yudhistira, Bogor
- [5.] Rohman. B., Koefisien Reaktivitas Temperatur Bahan Bakar Reaktor Kartini, Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia, Vol X No. 2 Agustus 2009
- [6.] Surbakti. T., Surian Pinem, Analisis Koefisien Reaktivitas Doppler Pada Reaktor Pwr Dengan Wims-Anl Prosiding Seminar Nasional ke-13 Teknologi dan Keselamatan PLTN serta fasilitas Nuklir, ISSN 0854-2910, Jakarta, 2007.