

**PEMODELAN ALAT PENENTU ARAH SUMBER SUARA
DENGAN KORELASI SILANG DAN INTERAURAL TIME
DIFFERENCE (ITD)**

Skripsi



oleh
WENDY ADI WIRATAMA S
22104922

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS KRISTEN DUTA WACANA

2015

**PEMODELAN ALAT PENENTU ARAH SUMBER SUARA
DENGAN KORELASI SILANG DAN INTERAURAL TIME
DIIFERENCE (ITD)**

Skripsi



©
Diajukan kepada Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknologi Informasi
Universitas Kristen Duta Wacana
Sebagai Salah Satu Syarat dalam Memperoleh Gelar
Sarjana Komputer

Disusun oleh

WENDY ADI WIRATAMA S
22104922

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS KRISTEN DUTA WACANA
2015

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

PEMODELAN ALAT PENENTU ARAH SUMBER SUARA DENGAN KORELASI SILANG DAN INTERAURAL TIME DIFFERENCE (ITD)

yang saya kerjakan untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Komputer pada pendidikan Sarjana Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknologi Informasi Universitas Kristen Duta Wacana, bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi keserjanaan di lingkungan Universitas Kristen Duta Wacana maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Jika dikemudian hari didapati bahwa hasil skripsi ini adalah hasil plagiasi atau tiruan dari skripsi lain, saya bersedia dikenai sanksi yakni pencabutan gelar keserjanaan saya.

Yogyakarta, 15 Januari 2015



WENDY ADI WIRATAMA S
22104922

BALAMAN PERSetujuan

Nama Skripsi : PERMODELAN ALAT PERSEDIAAN AKAR SUMBER
MATA DENGAN KORELASI MELANGKUTAN
INTERAKSI TIMS EXPERIENCE (ITE)
Nama Mahasiswa : WENDY ALEX WIKAYAMA E
N I M : 22104012
Matakuliah : Skripsi (Tugas Akhir)
Kode : TIK216
Semester : Gelas
Tahun Akademik : 2014/2015

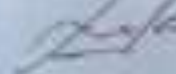
Tulis di atas dan di bawah &
Tanda Tangan
Pada tanggal 21 Januari 2015

Dosen Pembimbing I



Pembimbing I, M. Eng

Dosen Pembimbing II



Pembimbing II, M. Eng

HALAMAN PENGESAHAN

PEMODELAN ALAT PENENTU ARAH SUMBER SUARA DENGAN KORELASI SILANG DAN INTERAURAL TIME DIFFERENCE (ITD)

Oleh: WENDY ADI WIRATAMA S / 22104922

Dipertahankan di depan Dewan Penguji Skripsi
Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknologi Informasi
Universitas Kristen Duta Wacana - Yogyakarta
Dan dinyatakan diterima untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Komputer
pada tanggal 7 Januari 2015

Yogyakarta, 15 Januari 2015
Mengesahkan,

Dewan Penguji:

1. Hendro Setiadi, M.Eng
2. Lukas Chrisantyo, M.Eng.
3. Budi Susanto, SKom., M.T.
4. Prihadji Beny Waluyo, SSI., MT.

DUTA WACANA



Dekan

Budi Susanto
(Budi Susanto, S.Kom., M.T.)

Ketua Program Studi

Gloria Virginia
(Gloria Virginia, Ph.D.)

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan anugerah sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Pemodelan Alat Penentu Arah Sumber Suara dengan Korelasi Silang dan Interaural Time Difference (ITD).

Penulisan laporan ini merupakan kelengkapan dan pemenuhan dari salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Komputer. Selain itu bertujuan melatih mahasiswa untuk dapat menghasilkan suatu karya yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah, sehingga dapat bermanfaat bagi penggunanya.

Dalam menyelesaikan pembuatan program dan laporan Tugas Akhir ini, penulis telah banyak menerima bimbingan, saran, dan masukan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Untuk itu dengan segala kerendahan hati, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima-kasih kepada :

1. Bpk. Hendro Setiadi ST.,MM.,Meng Sc. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dengan sabar dan baik kepada penulis, juga kepada
2. Bpk. Lukas Chrisantyo A. A., S.Kom. M.Eng selaku dosen pembimbing II atas bimbingan, petunjuk, dan saran yang diberikan selama pengerjaan Tugas Akhir ini sejak awal hingga akhir, juga kepada
3. Dosen-dosen Universitas Kristen Duta Wacana yang telah membantu memberikan pengarahan dan masukan kepada penulis.
4. Keluarga tercinta yang setia memberikan dukungan, doa, dan semangat.
5. Pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik

Penulis menyadari bahwa program dan laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik

dan saran yang membangun dari pembaca sekalian. Sehingga suatu saat penulis dapat memberikan karya yang lebih baik lagi.

Akhir kata penulis ingin meminta maaf bila ada kesalahan baik dalam penyusunan laporan maupun yang pernah penulis lakukan sewaktu membuat program Tugas Akhir. Sekali lagi penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya. Dan semoga dapat berguna bagi kita semua.

Yogyakarta, 30 Mei 2014

Penulis

©UKDWN

INTISARI

Pemodelan Alat Penentu Arah Sumber Suara dengan Korelasi Silang dan Interaural Time Difference (ITD)

Perangkat-perangkat yang menggunakan teknologi robotika semakin banyak digunakan. Robot kerap dirancang agar memiliki kemampuan seperti indera-indera manusia, agar dapat merespon terhadap keadaan-keadaan lingkungan yang berubah-ubah. Contoh indera manusia yang dicoba ditanamkan dalam robot adalah pendengaran. Salah satu tantangan pada pendengaran robot adalah lokalisasi suara (penentuan arah sumber suara).

Melihat kasus diatas, penulis mencoba memodelkan suatu alat untuk mendeteksi arah datang suara. Pendeteksian arah datang suara dilakukan dengan metode korelasi silang dan konsep Interaural Time Difference. Metode korelasi silang menerima dua sinyal hasil sampling alat sebagai input, dan akan menghasilkan jeda waktu yang terjadi antara kedua sinyal tersebut. Pada pemodelan ini, penulis juga meneliti bagaimana pengaruh sampling rate terhadap penentuan arah datang suara

Hasil dari pengamatan menunjukkan bahwa saat *sampling rate* semakin besar, maka sistem dapat mengenali lebih banyak sudut, untuk *sampling rate* 192000Hz sistem mampu mengenali sebanyak 100 sudut untuk satu kuadran (terdapat dua kuadran). Namun peningkatan *sampling rate* belum tentu memperlebar jangkauan pendeteksian arah suara, pada 50400Hz sistem hanya dapat mendeteksi sampai maksimal $79,4278638^\circ$ sementara pada 44100Hz sistem dapat mendeteksi sampai 83.6305229° .

Kata kunci: Korelasi Silang, Interaural Time Difference, Lokalisasi Suara, Sampling Rate

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
INTISARI.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Metode Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Landasan Teori.....	6
2.2.1 Suara / Bunyi.....	6
2.2.2 CE Amplifier.....	7
2.2.3 Audio Digital	7
2.2.4 Interaural Time Difference.....	8
2.2.5 Lokalisasi Suara dengan ITD.....	10
2.2.6 Korelasi Silang.....	11
BAB 3 ANALISIS DAN ARSITEKTUR SISTEM	13
3.1 Kebutuhan Perangkat Keras dan Lunak.....	13
3.2 Arsitektur Sistem	14
3.2.1 Arsitektur Sensor Suara	14
3.2.2 Arsitektur Sistem	15

3.2.3	Arsitektur NXT dengan Posisi Microphone	16
3.2.4	Arsitektur Rangkaian Preamp	17
3.3	Flow Chart	17
3.3.1	Flow Chart Korelasi Silang	18
3.3.2	Flow Chart Penentuan Sudut Datang Suara	19
3.3.3	Flow Chart Penentuan Sudut dengan ITD	20
3.3.4	Flow Chart Penggerak Motor	21
3.4	Perancangan User Interface	22
3.5	Contoh Perhitungan Manual	23
BAB 4	IMPLEMENTASI DAN ANALISIS SISTEM	31
4.1	Implementasi User Interface	31
4.2	Implementasi Pemodelan Alat	32
4.3	Implementasi Kode	33
4.3.1	Proses Pengambilan Sampel Suara	33
4.3.2	Preproses Sampel Suara	35
4.3.3	Modul Penentu Arah Datang Suara	36
4.4	Pengambilan Sampel dan Analisis Performa Sistem	39
4.4.1	Evaluasi Berdasarkan Sampling Rate	40
4.4.2	Perhitungan Manual Sistem	43
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1	Kesimpulan	50
5.2	Saran	51
	DAFTAR PUSTAKA	52
	LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Pesan yang Dikirimkan dari Dekstop ke NXT.....	22
Tabel 3.2 Contoh Data Sinyal Suara	23
Tabel 3.3 Proses Penggeseran Sinyal Kanan terhadap Sinyal Kiri	25
Tabel 3.4 Hasil Perkalian Sinyal Kiri dengan Sinyal Kanan untuk Setiap Nilai n ..	27
Tabel 3.5 Hasil Penjumlahan Tiap Baris Korelasi Silang.....	28
Tabel 4.1 Hasil Pengambilan Sampel	40
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Lengkap Sampling Rate	43
Tabel 4.3 Jarak Frame Valid Terakhir untuk Tiap Sampling Rate	48

©UKDW

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rangkaian CE Amplifier Sederhana	7
Gambar 2.2 Sampling Gelombang Sinus	8
Gambar 2.3 Perbedaan Jarak antara Telinga Kiri dan Kanan	9
Gambar 2.4. ITD disekitar Kepala Manusia	9
Gambar 2.5. Metode Lokalisasi Suara	10
Gambar 2.6. (a) 2 Buah Sinyal Suara yang digunakan	12
Gambar 3.1. Arsitektur Sensor Suara Sistem.....	14
Gambar 3.2. Interface Behringer UCA 202	15
Gambar 3.3. Arsitektur Keseluruhan Sistem	15
Gambar 3.4. Arsitektur NXT dan Posisi Microphone.....	16
Gambar 3.5. Rangkaian Preamp.....	17
Gambar 3.6. Flowchart Keseluruhan Sistem	18
Gambar 3.7. Flowchart Korelasi Silang.....	19
Gambar 3.8. Flow Chart Penentuan Sudut dengan ITD	20
Gambar 3.9. Flow Chart NXT (Penggerak Motor dan Penerima Pesan).....	21
Gambar 3.10. Rancangan User Interface Program Sound Locator (Desktop).....	22
Gambar 3.11. Gelombang Suara dari Dua Contoh Sinyal Suara	24
Gambar 3.12. Proses Penggeseran Sinyal Kanan terhadap Sinyal Kiri	25
Gambar 3.13. Hasil Korelasi Silang antara Sinyal Kiri dan Sinyal Kanan.....	29
Gambar 4.1. Tampilan Sebelum Menerima Input Suara.....	31
Gambar 4.2. Tampilan Setelah Proses Penentuan Sudut Selesai	32
Gambar 4.3. Model Alat Lokalisasi Suara	33
Gambar 4.4. Kode Property	33
Gambar 4.5. Kode Format Audio yang Digunakan untuk Pengambilan Suara	34
Gambar 4.6. Kode Proses Pengambilan Sample Suara.....	34
Gambar 4.7. Kode Proses Pemisahan Channel	35
Gambar 4.8. Kode Proses Konversi ke Integer	36
Gambar 4.9. Kode Proses Korelasi Silang	37
Gambar 4.10. Kode Penentuan Indeks yang Memiliki Nilai Maksimum	38

Gambar 4.11. Kode Proses Penentuan Arah Datang Suara	39
Gambar 4.12. Metode Pengambilan Sampel.....	40
Gambar 4.13. Grafik Peningkatan Jarak Frame untuk 30 s/d 90° (Nilai Absolut) ..	43
Gambar 4.14. Peningkatan Error untuk Jarak Frame Semakin Besar.....	48

©UKDW

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perangkat-perangkat yang menggunakan teknologi robotika semakin banyak digunakan. Robot pada dasarnya digunakan sebagai alat untuk membantu pekerjaan manusia yang cenderung membosankan dan berulang-ulang atau pekerjaan-pekerjaan yang membutuhkan akurasi tinggi. Oleh karena itu robot dituntut untuk dapat bertingkah atau berperilaku seperti manusia atau bahkan lebih baik. Robot juga kerap dirancang agar memiliki kemampuan seperti indera-indera manusia, agar dapat merespon terhadap keadaan-keadaan lingkungan yang berubah-ubah. Salah satu dari indera manusia yang dicoba ditanamkan dalam robot adalah pendengaran.

Salah satu tantangan pada pendengaran robot adalah lokalisasi suara (penentuan arah sumber suara). Dalam kasus lokalisasi suara, robot dituntut untuk bisa menentukan arah datang suara terhadap posisi robot menghadap saat itu (posisi normal 0). Untuk dapat melakukan lokalisasi suara, robot didesain memiliki bentuk seperti kepala manusia yang memiliki dua buah telinga. Pada robot telinga ini digantikan dengan dua buah *microphone* yang diletakan di kanan dan kiri robot seperti telinga manusia. Kemudian robot diprogram untuk melokalisasi suara dengan input dari kedua *microphone* tersebut.

Penentuan arah datang suara dapat dilakukan dengan *Interaural Time Difference (ITD)* dan korelasi silang. ITD adalah perbedaan waktu kedatangan suara antara telinga kiri dan kanan. Perbedaan waktu ini terjadi karena kecepatan suara yang konstan dan perbedaan jarak tempuh antara sumber suara dengan telinga kiri dan kanan. Korelasi silang digunakan untuk memproses suara yang ditangkap oleh *microphone* kiri dan kanan untuk mencari ITD.

Pada tulisan ini penulis mengaplikasikan perhitungan ITD dengan korelasi silang untuk melokalisasi sumber suara pada prototype alat. Robot dibangun dengan LEGO MINDSTORM NXT dan akan diprogram untuk melokalisasi sumber suara. Penulis juga menganalisa bagaimana *sampling rate* dan kecepatan suara dapat mempengaruhi lokalisasi suara.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan sebelumnya, maka permasalahan yang akan diteliti oleh penulis adalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana pengaruh perubahan besaran *sampling rate* terhadap ketepatan pengukuran derajat ?
- b. Bagaimana pengaruh arah datang suara terhadap ketepatan penentuan arah datang suara ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan dari sistem yang akan dibuat adalah :

- a. sistem yang dibangun hanya bisa mengidentifikasi satu buah sumber suara,
- b. sistem tidak dirancang untuk membedakan jenis suara,
- c. sistem hanya memiliki jangkauan sebesar 180° ,
- d. arah datang suara yang diteliti adalah 0° , 30° , 45° , 60° , 90° , -30° , -45° , -60° , dan -90° , dan
- e. *sampling rate* yang akan diuji antara lain 44100Hz, 48000Hz, 50400Hz, 88200Hz, 176400Hz, dan 192000Hz.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai penulis melalui penelitian ini antara lain :

- a. Mengetahui pengaruh *sampling rate* terhadap lokalisasi suara

- b. Mengetahui pengaruh arah datang suara terhadap sistem yang dibuat

1.5 Metode Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan nantinya direncanakan ke dalam langkah-langkah secara sistematis. Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu:

1. Studi Pustaka

Metode ini dilakukan untuk mengumpulkan dan membaca jurnal, website, buku, dan sumber-sumber lainnya terkait dengan metode-metode lokalisasi suara dengan ITD, korelasi silang serta pemrograman pada LEGO MINDSTORM NXT dengan leJOS

2. Analisis Masalah

Memahami cara pemrograman dan metode-metode untuk memecahkan rumusan masalah yang telah dituliskan sebelumnya.

3. Perancangan Sistem

Pada tahap ini penulis akan merancang robot yang sesuai untuk menjawab rumusan masalah yang telah dituliskan.

4. Pengkodean

Sistem yang dirancang diimplementasikan ke robot yang telah dibangun dengan leJOS dan bahasa pemrograman Java.

5. Pengujian

Pada tahap pengujian terhadap *sampling rate* dan arah datang suara terhadap ketepatan penentuan arah datang suara.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan dalam mendapatkan gambaran yang lengkap dan jelas mengenai penelitian yang akan dilakukan, penulis membagi laporan ini menjadi 5 (lima) bab yaitu Bab 1 Pendahuluan, Bab 2 Tinjauan Pustaka, Bab 3 Analisis dan

Perancangan Sistem, Bab 4 Implementasi dan Analisis Sistem, dan Bab 5 Kesimpulan dan Saran.

Dalam Bab 1 menguraikan hal-hal seperti latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metode/pendekatan yang digunakan serta sistematika penulisan laporan Tugas Akhir.

Bab 2 berisi tentang tinjauan pustaka serta landasan teori yang diperlukan untuk memecahkan masalah dalam riset yang dilakukan.

Bab 3 berisi tentang analisis teori yang digunakan dalam penelitian, uraian tentang variabel dan data yang akan dikumpulkan, flowchart dan arsitektur sistem, cara perancangan dan simulasi yang dilakukan .

Bab 4 berisi tentang hasil penelitian/implementasi serta pembahasan/analisis dari penelitian yang telah dilakukan dan dijelaskan secara terpadu.

Bab 5 berisi kesimpulan dari sistem yang telah dibuat dan saran yang akan berguna untuk pengembangan system selanjutnya. Dengan adanya saran, diharapkan riset yang dilakukan selanjutnya akan menghasilkan hasil yang lebih baik.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil implementasi dan analisis sistem, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- a) Data pada Tabel 4.1a-f menunjukkan bahwa sistem yang dibangun tidak dapat mendeteksi sudut 90° secara akurat. Hal ini dikarenakan penggunaan fungsi *arcus sinus* yang hanya bisa bernilai 90° hanya jika parameter bernilai persis 1.
- b) Semakin besar *sampling rate* maka resolusi derajat arah datang suara akan semakin kecil, artinya derajat arah datang suara yang dapat dideteksi akan semakin banyak. Untuk jarak antar *microphone* 0.18m dan kecepatan udara 343m/s didapatkan bahwa 44100Hz akan dapat mendeteksi 23 arah, 48000Hz mendeteksi 25 arah, 50400Hz mendeteksi 26 arah, 88200Hz mendeteksi 46 arah, 176400Hz mendeteksi 92arah dan 192000 mendeteksi 100 arah selain 0° untuk satu kuadran (terdapat dua kuadran).
- c) Data pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa peningkatan *sampling rate* tidak berpengaruh pada luasnya jangkauan pencarian sistem, pada *sampling rate* 50400Hz malah didapati bahwa arah datang terakhir yang didapat ($79,4278638^\circ$) malah lebih kecil dari 48000Hz (82.9674944°).
- d) Data pada Tabel 4.4 juga menunjukkan bahwa pelipatan nilai *sampling rate* menjadi 2 kali akan meningkatkan jarak antar frame maksimum menjadi 2 kali lipat juga, namun arah terakhir yang dapat terdeteksi masih tetap sama.
- e) Semakin besar jarak antar frame, maka akan semakin banyak derajat yang hilang dengan jarak antar frame sebelumnya, sehingga tidak memungkinkan sistem untuk mendeteksi derajat yang hilang tersebut. Dengan *sampling rate* yang besar, maka akan meminimalisir derajat yang hilang.
- f) Sistem yang dibangun memiliki kecenderungan error untuk arah datang suara dari sebelah kiri (-30 , -45 , -60 , -90).

5.2 Saran

Saran penulis untuk perbaikan dan pengembangan sistem adalah:

- a) Untuk dapat menghasilkan perhitungan arah yang akurat, nilai *sampling rate* dan kecepatan suara pada perlu disesuaikan dengan kondisi lingkungan, dan arsitektur alat.
- b) Menambahkan perangkat seperti daun telinga di sekitar *microphone* untuk memfokuskan gelombang suara dapat membantu mengenali sumber suara yang jauh.
- c) Pendeteksian sudut 90° dapat dilakukan dengan penambahan *threshold* pada sistem. Jika jarak antar frame telah melebihi yang dapat dicakup oleh *frame rate* dan kecepatan suara yang dipakai, maka arah datang suara bisa dianggap 90° .

DAFTAR PUSTAKA

- Floyd, T. L. (2010). *Electronics Fundamentals 6th Edition*. New Jersey: Pearson Prentice Hall .
- Goodridge, S. (n.d.). *Multimedia Sensor Fusion for Intelligent Camera Control and Human Computer Interaction*. Retrieved November 29, 2014, from NC State University: <http://www.ise.ncsu.edu/kay/msf/>
- Halliday, D., & Resnick, R. (1977). *Physics*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Li, Z.-n., & Drew, M. S. (2004). *Fundamentals of Multimedia*. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.
- Murray, J. C., Erwin, H., & Wermter, S. (2004). *Robotic Sound-Source Localization and Tracking Using Interaural Time Difference and Cross Correlation*. Sunderland: Center for Hybrid Intelligent Systems, University of Sunderland.
- Oppenheim, A. V., Willsky, A. S., & Nawab, S. H. (1997). *Signals and Systems*. Massachusetts: Prentice-Hall International.
- Pillow, J. (2009, Maret 11). *Hearing in the Environment*. Austin, Texas.
- Sam Ge, S., Poh Loh, A., & Guan, F. (2005). Robust Sound Localization using Small Number of Microphone. *International Journal of International Acquisition* , 1-22.
- Six, J. (2012). *Digital Sound Processing and Java*. Hoogpoort: University College Ghent.
- Valin, J.-M., Michaud, F., Rouat, J., & Letourneau, D. (2003). *Robust Sound Source Localization Using a Microphone Array on a Mobile Robot*. Quebec: Universite de Sherbrooke.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2012). *University Physics with Modern Physics ed13*. San Fransisco: Addison-Wesley.