

# Perancangan dan Simulasi Ultrasonik Doppler Gelombang Kontinu 4MHz Berbasis Mikrokontroler ATmega16

Paskalis Kurniaji, Harris Pirngadi, Tri Arief Sardjono

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: harris@ee.its.ac.id

**Abstrak**—Dalam penelitian ini telah dirancang sebuah sistem ultrasonik yang akan digunakan untuk mengukur kecepatan aliran darah. Sistem yang dirancang ini menggunakan prinsip ultrasonik doppler gelombang kontinu dengan frekuensi 4MHz. Prinsip kerja dari sistem ini adalah dengan memancarkan gelombang sinus yang memiliki frekuensi 4 MHz ke bagian pembuluh darah oleh transduser pemancar, dan gelombang pantul yang dihasilkan dari reflektor sel darah merah akan diterima kembali oleh transduser penerima. Gelombang pantul yang diterima oleh transduser penerima ini akan memiliki frekuensi yang berbeda dari gelombang yang dipancarkan. Untuk mendapatkan perbedaan frekuensi ini, maka digunakan dua buah sumber generator gelombang sebagai bagian dari simulasi sistem. Rentang frekuensi yang digunakan untuk proses simulasi sistem adalah 4MHz – 4.007 MHz. Dari hasil pengujian dan simulasi, telah diperoleh nilai kecepatan aliran pada sudut <math><30^\circ</math> sebesar 50.74 cm/s dan nilai kecepatan aliran minimum pada sudut <math>>80^\circ</math> memiliki kecepatan sebesar 1.3 cm/s dengan estimasi cepat rambat gelombang di dalam medium darah sebesar 1500m/s. Hasil pengujian dan simulasi untuk sudut doppler yang sesuai adalah untuk pengujian kecepatan aliran pada sudut <math><60^\circ</math>.

**Kata Kunci**—Darah, Doppler, ultrasonik.

## I. PENDAHULUAN

ALAT ukur kecepatan aliran darah yang beredar di pasaran Indonesia pada umumnya merupakan produk-produk yang berasal dari luar negeri. Sebagian besar dari alat ukur ini memiliki desain alat yang sangat besar sehingga tidak efisien dan memiliki harga yang relatif mahal. Alat-alat ukur ini biasanya hanya tersedia di sejumlah rumah sakit di kota besar. Di daerah pedesaan, alat untuk mengukur kecepatan aliran darah sangat jarang ditemui bahkan tidak ada sama sekali karena biaya pengadaannya yang sangat mahal.

Alat ukur kecepatan aliran darah ini sendiri terdiri dari berbagai macam, hal ini tergantung dari metode pengukuran yang digunakan. Salah satu metode pengukuran yang digunakan adalah efek doppler dari suatu gelombang ultrasonik [1]. Prinsip kerjanya yaitu adanya perubahan frekuensi gelombang ultrasonik yang dipancarkan oleh transduser pemancar ke pembuluh darah dengan frekuensi yang diterima oleh transduser penerima. Perubahan dari frekuensi ini yang besarnya sebanding dengan nilai kecepatan aliran darah.

Pada penelitian ini dibuat sebuah sistem alat yang dapat

menyimulasikan pengukuran kecepatan aliran darah sederhana. Sistem ini bekerja berdasarkan dari perubahan frekuensi antara frekuensi yang dipancarkan oleh sensor dan frekuensi yang diterima oleh sensor. Dua frekuensi yang berbeda ini kemudian di jumlahkan untuk menghasilkan sinyal amplop. Sinyal ini kemudian dideteksi dengan menggunakan modulator dimana modulator ini berfungsi untuk mengambil sinyal informasi yang dihasilkan. Sinyal informasi ini kemudian difilter dengan menggunakan band pass filter untuk mendapatkan frekuensi informasi-nya. Sinyal hasil pemfilteran ini berupa sinyal sinus kemudian dirubah menjadi sinyal digital agar dapat diolah oleh mikrokontroler sehingga data frekuensi doppler dan kecepatan aliran bisa ditampilkan pada layar LCD.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Ultrasonik Doppler

Ultrasonik Doppler merupakan sistem yang terdiri dari bagian sensor ultrasonik, bagian pengolah sinyal analog dan bagian *display* yang digunakan sebagai media untuk memberikan informasi. Ultrasonik Doppler digunakan untuk mengukur kecepatan aliran yang memanfaatkan efek Doppler [2]-[3]. Efek Doppler ini terjadi karena adanya perbedaan frekuensi antara frekuensi yang dipancarkan dari transduser pemancar dan frekuensi yang diterima oleh transduser penerima. Ilustrasi dari sistem Doppler ini dapat dilihat pada Gambar 1.

$$\Delta F = (FR - FT) = \frac{2 * FT * V * \cos \theta}{c} \quad (1)$$

$$v = \frac{\Delta F * c}{2 * FT * \cos \theta} \quad (2)$$

dimana :

$\Delta F$  = selisih perbedaan frekuensi

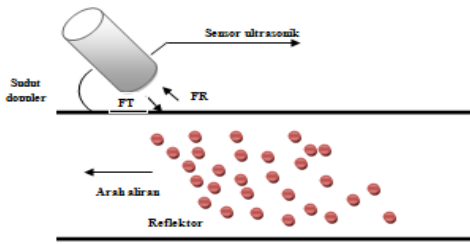
$FT$  = frekuensi yang dipancarkan

$FR$  = frekuensi yang diterima

$v$  = kecepatan aliran

$c$  = kecepatan suara dalam medium

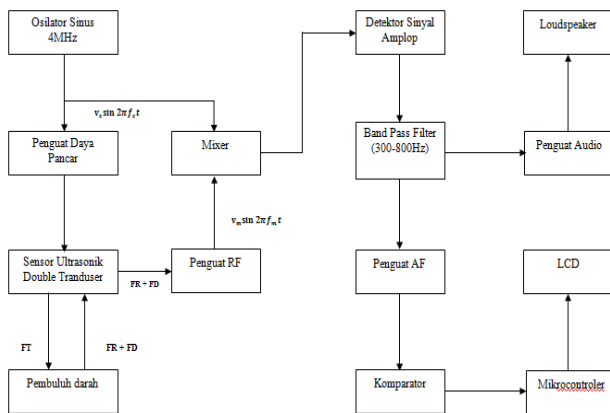
$\theta$  = sudut doppler



Gambar. 1. Metode ultrasonik Doppler



Gambar. 2. Sensor ultrasonik



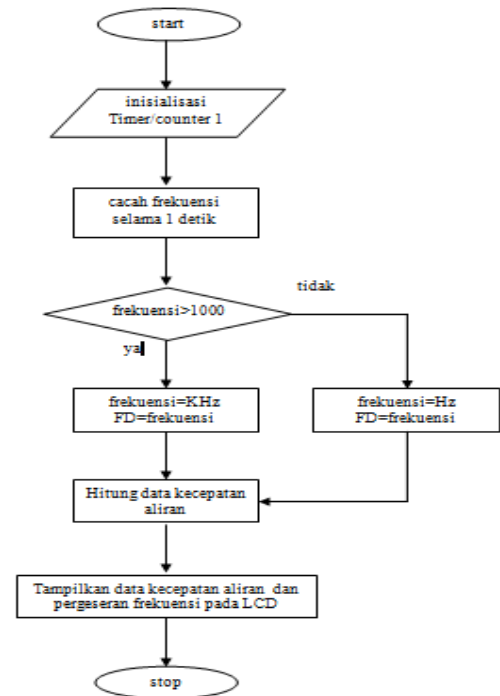
Gambar. 3. Diagram blok sistem

**B. Sensor Ultrasonik**

Frekuensi kerja dari sensor ultrasonik yang digunakan adalah sebesar 4 MHz. Sensor ini terdiri dari dua elemen, dimana di dalam satu probe sensor terdapat transducer pemancar dan transducer penerima. Sensor ultrasonik yang digunakan untuk mengukur aliran yang memanfaatkan efek Doppler biasanya di desain khusus oleh pabrikannya dan memiliki kemiringan tertentu antara transducer pemancar dan transducer penerima. Gambar 2 menunjukkan sensor ultrasonik yang akan digunakan pada penelitian ini.

**C. Perancangan Perangkat Keras**

Perancangan sistem yang akan dibangun ini dirancang dengan menggunakan rangkaian-rangkaian pengolah sinyal analog yang kemudian data output akan diolah dengan mikrokontroler ATmega 16. Blok diagram sistem alat dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 4. Flowchart program mikrokontroler

Gelombang ultrasonik dibangkitkan dari crystal osilator sebesar 4 MHz. Gelombang ini kemudian dikuatkan oleh *pre-Amp* dan *power transmitter* untuk menggetarkan kristal *piezoelectric* [5]-[6]. Gelombang ultrasonik yang dipancarkan transducer *transmitter* ke darah yang mengalir akan dipantulkan dan diterima kembali oleh transducer *receiver*. Karena adanya efek doppler [7], gelombang ultrasonik yang diterima oleh transducer *receiver* mengalami perubahan frekuensi. Sinyal yang dihasilkan dari transducer *receiver* ini masih lemah sehingga diperlukan penguatan terlebih dahulu dengan menggunakan rangkaian *amplifier*.

Dua buah frekuensi yang berbeda ini kemudian di *mixing*. Proses pencampuran sinyal ini akan menghasilkan sinyal yang termodulasi. Amplop dari sinyal ini kemudian di deteksi dengan menggunakan *envelope detector* untuk mengambil sinyal informasi yang dihasilkan. *Output* dari *detector* ini masih mengandung frekuensi tinggi sehingga harus difilter untuk membuang frekuensi tinggi dan rendah yang tidak diinginkan. Keluaran dari filter ini akan menjadi sinyal doppler yang memiliki frekuensi 20KHz sehingga dapat didengar oleh telinga manusia. Sinyal hasil pemfilteran ini kemudian dikuatkan lagi dengan *amplifier*. Sinyal hasil penguatan oleh *amplifier* masih berupa sinyal analog. Agar sinyal dapat diolah oleh mikrokontroler maka sinyal analog dari *amplifier* dibentuk terlebih dahulu menjadi sinyal digital dengan menggunakan rangkaian komparator. Sinyal keluaran komparator kemudian di cacah oleh mikrokontroler dalam waktu satuan detik. Kecepatan aliran kemudian dihitung oleh mikrokontroler dengan menggunakan persamaan (2) dan nilai kecepatan aliran ditampilkan pada layar LCD.

D. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan dengan menggunakan bahasa C pada mikrokontroler berisikan instruksi cacah frekuensi dalam satu detik terhadap perubahan sinyal input. *Flowchart* dari sistem ditunjukkan pada Gambar 4.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Pengujian Sensor Ultrasonik

Tujuan dari pengujian sensor ultrasonik ini adalah untuk mengetahui frekuensi resonansi dari sensor ultasonik yang akan digunakan. Pengujian sensor dilakukan dengan cara memberikan pancaran gelombang sinus yang kontinu yang berasal dari *function generator* pada bagian *transmitter* sensor serta mengamati sinyal pantulan pada bagian *receiver* sensor. Alasan proses pengujian sensor menggunakan *function generator* ini karena proses pengujian sensor dengan menggunakan *spectrum analyzer* diperoleh data frekuensi resonansi 60MHz. Data frkeuensi ini tidak sesuai dengan *datasheet* dari sensor yang mengatakan bahwa frekuensi resonansi dari sensor ini sebesar 4MHz. Proses pengujian sensor ultrasonik ini dilakukan dengan mengubah-ubah nilai frekuensi yang ada pada *function generator* mulai dari 1 Mhz – 7 Mhz.

Gambar 7 merupakan hasil dari pengujian sensor pada saat untuk mengukur aliran dengan kemiringan sudut doppler 30°. Sinyal yang pertama merupakan sinyal *transmitter* dengan V/div = 5 V dan T/div 0.1us, sedangkan sinyal ke dua merupakan sinyal *receiver* dengan V/div =0.5V dan T/div =0.1us. Dari hasil pengamatan, ke dua sinyal ini memiliki frekuensi yang sama yaitu sebesar 4MHz. Artinya, bahwa pada saat dilakukan pengukuran terhadap aliran yang mengalir, sensor menunjukkan kegagalan fungsi kerja dimana yang seharusnya diterima oleh tranduser *receiver* adalah lebih dari 4MHz karena pergerakan reflektor mendekati sumber bunyi/sensor.

B. Pengujian Frekuensi Meter

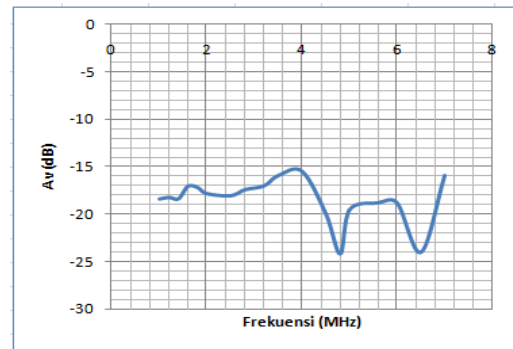
Pengujian frekuensi meter ini dilakukan dengan memberikan sinyal input berupa gelombang kotak yang berasal dari *function generator*. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dengan tujuan untuk mengetahui apakah frekuensi meter yang sudah dirancang berfungsi dengan baik.

C. Pengujian Alat

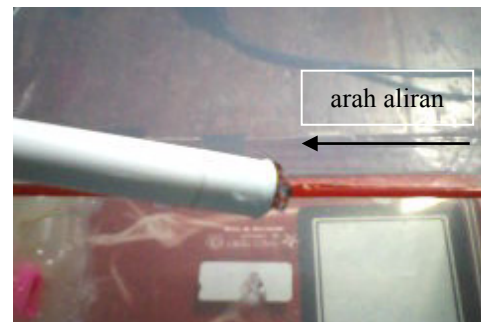
Karena terjadi permasalahan dengan sensor ultrasonik yang digunakan pada penelitian ini, dan tidak memungkinkannya menggunakan sensor yang baru karena harganya yang mahal, maka pengujian dari frekuensi doppler alat dilakukan dengan menggunakan *function generator*. *Function generator* ini digunakan sebagai pengganti untuk sinyal penerima dari tranduser penerima. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengubah-ubah nilai frekuensi dari *function gnerator* dengan tujuan untuk mengetahui hasil frekuensi doppler dari alat. Hasil pengujian frekuensi doppler dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 1. Pengujian amplitudo dan gain sensor

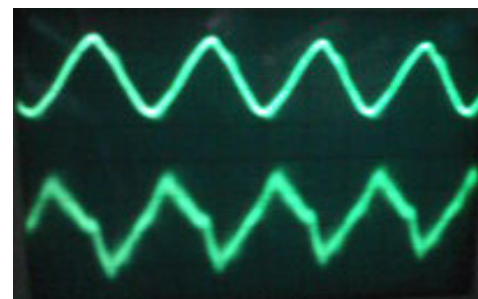
Frekuensi (MHz)	V input (Vp-p)	V output (Vp-p)	Av (dB)
1	5	0.6	-18.416375
1.2	4.9	0.6	-18.240897
1.4	4.9	0.59	-18.386881
1.6	4.2	0.59	-17.047946
1.8	4.2	0.58	-17.196426
2	3.9	0.5	-17.841892
2.5	3.2	0.4	-18.0618
2.8	2.6	0.35	-17.418106
3.2	2.2	0.31	-17.02122
3.5	1.9	0.3	-15.9176
4	1.9	0.32	-15.472072
4.5	3	0.3	-20
4.8	3.75	0.23	-24.246069
5	2.75	0.29	-19.538694
5.6	2.27	0.26	-18.82105
6	3.5	0.4	-18.840161
6.5	1.6	0.1	-24.0824
7	0.625	0.1	-15.9176



Gambar. 5. Respon frekuensi sensor



Gambar. 6. Pengujian sensor untuk sudut 30°



Gambar. 7. Hasil pengujian sensor untuk sudut 30°

Tabel 2.  
Penguujian frekuensi meter

No	Frekuensi <i>Function Generator</i>		Pembacaan Frekuensi Meter		Rasio Penyimpangan (%)
1	300.3	Hz	300	Hz	0.09
2	410.6	Hz	411	Hz	0.09
3	950.7	Hz	951	Hz	0.03
4	6.617	KHz	6.62	KHz	0.05
5	81.06	KHz	81.11	KHz	0.06
6	500	KHz	500.39	KHz	0.08
7	764.8	KHz	765.47	KHz	0.09
8	1.538	MHz	1.54	MHz	0.12
9	2.568	MHz	2.57	MHz	0.08
10	4.58	MHz	4.583	MHz	0.07

Tabel 3.  
Penguujian frekuensi doppler dari sitem alat

No	Frekuensi Sinyal Referensi (MHz)	Frekuensi Function Generator (MHz)	Hasil Frekuensi Doppler Alat (KHz)	Perhitungan Frekuensi Doppler (KHz)	% error
1	4	3.98	2.2	-20	89
2	4	3.99	6.2	-10	61.3
3	4	4.001	999	+1	55
4	4	4.002	2.1	+2	0.1
5	4	4.003	2.9	+3	3.3
6	4	4.0034	3.3	+3.4	2.9
7	4	4.0044	4.3	+4.4	2.3
8	4	4.0045	4.4	+4.5	2.2
9	4	4.0053	5.2	+5.3	1.9
10	4	4.0063	6.2	+6.3	1.6
11	4	4.007	6.8	+6.9	1.5
12	4	4.008	7.9	+8	1.3
13	4	4.0083	8.2	+8.3	1.2
14	4	4.0096	9.2	+9.6	4.2
15	4	4.010	8.4	+10	16
16	4	4.012	745	+12	93.8

Tabel 4.  
Hasil penguujian alat

Nilai Akustik (m/s)	FT (MHz)	FR (MHz)	Frekuensi Doppler (KHz)	Sudut Doppler (°)	Kecepatan (cm/s)	Estimasi Arah Aliran
1500	4	4.002120	2.34	<30	50.74	+
1500	4	4.000971	0.971	~60	36.41	+
1500	4	4.000012	0.012	>80	1.3	+
1500	4	3.999391	0.725	~60	27.19	-
1500	4	3.997590	2.41	<30	51.09	-
1500	4	4.001442	1.442	<30	30.63	+
1500	4	3.999590	0.410	~60	15.38	-
1500	4	4.000866	0.866	<30	17.28	+
1500	4	3.999781	0.219	~60	8.21	-

Amplitudo sinyal referensi : 10Vp-p  
Amplitudo sinyal *function generator* : 1.6Vp-p  
Keterangan :

(+) = frekuensi *function generator* > frekuensi sinyal referensi  
(opsi untuk arah aliran mendekati sumber bunyi).  
(-) = frekuensi *function generator* < frekuensi sinyal referensi  
(opsi untuk arah aliran menjauhi sumber bunyi).

Penguujian keseluruhan sistem alat ini dilakukan untuk menguji apakah sistem instrumentasi dari alat yang sudah dibuat bisa difungsikan atau tidak. Proses penguujian ini dilakukan dengan dua buah sinyal yang masing-masing dari sumber yang berbeda yang digunakan sebagai pengganti sensor. Sinyal pertama berasal dari osilator alat yang dibuat dengan frekuensi 4MHz dan sinyal kedua berasal dari *function generator* dengan frekuensi yang akan diubah-ubah.

Nilai kecepatan suara di dalam darah sudah merupakan suatu ketetapan sebesar 1500m/s. FT merupakan sinyal yang berasal dari osilator alat yang digunakan sebagai sinyal referensi dan difungsikan sebagai sinyal yang akan dipancarkan melalui transduser TX. FR merupakan sinyal yang berasal dari *function generator* dimana nilai frekuensinya akan diubah-ubah dan difungsikan sebagai sinyal yang diterima oleh transduser RX. Frekuensi doppler merupakan selisih frekuensi dari FT dan FR. Sudut doppler merupakan sudut yang digunakan untuk penyudutan *probe* sensor. Karena penguujian dengan sensor ultrasonik yang sesungguhnya tidak bisa dilakukan, maka pada penguujian ini, nilai dari besarnya sudut doppler diubah-ubah dan perubahan besarnya sudut doppler ini mengacu pada sumber data referensi yang digunakan [8].

#### IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan penguujian dari keseluruhan sistem pada tugas akhir ini, dan berdasarkan data yang telah didapat dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Besarnya nilai kecepatan aliran tergantung dari besarnya sudut doppler yang diberikan.
- 2) Besarnya nilai frekuensi doppler tergantung dari seberapa besar sudut doppler yang akan digunakan untuk simulasi.
- 3) Sistem yang dibangun ini hanya mampu untuk menyimulasikan kecepatan aliran yang memiliki frekuensi doppler antara 300Hz-8KHz.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bueche R.J., "Introduction to Physics for Scientists and Engineers", Mc Graw-Hill, New York, pp 50-56, 1986.
- [2] Halliday, David and Robert Resnick, "Physics : Third Edition. John Wiley and Sons, Inc, 1978", Diterjemahkan di Indonesia oleh Pantur Silaban dan Erwin Sucipto, Erlangga, Jakarta, Edisi kelima, 1985.
- [3] Cameron John R., and Skofronick James G., "Medical Physics", pp 253-287, New York, John Wiley & Sons Inc, 1978.
- [4] T. L. Szabo, "Diagnostic Ultrasound Imaging", Elsevier, Academic Press, Burlington, 2004.
- [5] "Piezoelektric Transducer", <URL <http://ndted.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Equipment/Trans/piezotransducers.htm> >, Juli 2012.
- [6] "Doppler", <URL [http://mail.colonial.net/~hkaiter/Doppler\\_Effect\\_Shift.html](http://mail.colonial.net/~hkaiter/Doppler_Effect_Shift.html) >, Juli 2012.
- [7] Christopher R.B. Merrit, "The Physics of Ultrasound", chapter 1, 1988.
- [8] Supriyanto Eko, Astami Kastam and R.M Latifah Tati, "Design And Realization Ultrasonic Wave Instrument For Vascular Diagnostic Based On Digital Signal Processor", Proc. of Biomedical Engineering, IEEE Tencon, pp. 1555-1557, Bandung, 1999.