

# **RANCANG BANGUN DATA AKUISISI MULTI KANAL UNTUK DOPPLER TRACKING SISTEM PELUNCUR ROKET JAMAK (DESIGN AND DEVELOPMENT OF MULTI CHANNEL DATA ACQUISITION FOR DOPPLER TRACKING OF MULTIPLE LAUNCH ROCKET SYSTEM)**

**Wahyu Widada**

Peneliti Bidang Telemetry dan Muatan Roket, LAPAN  
e-mail: w\_widada@yahoo.com

## **ABSTRACT**

This paper describes the design and development of low cost multi-channel Universal Serial Bus (USB) Data Acquisition System (DAS) for the measurement of Doppler signal tracking rocket. Doppler signal has a frequency range from 0 to 3000 Hz depending on the speed change of the rocket and radio frequency. The DAS is designed using ATmega32 microcontroller, 8 channel simultaneous 16 bit Analog Digital Converter (ADC), and communicating with *Personal Computer* (PC) through USB. The designed DAS has been tested with the application program developed in MATLAB, which allows realtime monitoring of 8 channel Doppler signal in graphical as well as numerical display with 16 KHz sampling speed. The developed DAS will be used for experiments on the application of rocket launch Multiple Launch Rocket System (MLRS).

Keywords: *Multi channel data acquisition, Doppler receiver, Tracking rocket, MLRS*

## **ABSTRAK**

Makalah ini membahas hasil desain dan pengembangan Sistem Data Akuisisi biaya rendah dengan *Universal Serial Bus* (USB) untuk pengukuran sinyal *Doppler tracking* roket. Sinyal *Doppler* mempunyai rentang frekuensi antara 0 hingga 3000 Hz bergantung pada perubahan kecepatan roket dan frekuensi radio. DAS ini dirancang menggunakan mikrokontroler ATmega32, 8 kanal simultan dengan 16 bit *Analog Digital Converter* (ADC), komunikasi dengan *Personal Computer* (PC) melalui USB. DAS ini telah diuji dengan program aplikasi yang dikembangkan di MATLAB, yang dapat memantau secara *realtime* 8 kanal sinyal *Doppler* dalam grafis serta tampilan numerik dengan sampling 16 KHz. DAS ini akan digunakan untuk aplikasi pada peluncuran roket *Multiple Launch Rocket System* (MLRS).

Kata kunci: *Data akuisisi multi-kanal, Doppler receiver, Tracking roket, MLRS*

## **1 PENDAHULUAN**

Efek *Doppler* pada radio penerima terjadi karena adanya gerakan obyek yang mendekat maupun menjauh yang membawa sumber pancaran sinyal radio. Fenomena ini dapat dimanfaatkan untuk mengukur perubahan kecepatan obyek bergerak tersebut. Metoda ini telah diaplikasikan untuk *tracking* roket sejak awal pengembangan roket di negara lain [Bjelland, B., 1963; Hall, J. E.; Turner, M. D., 1975; Steele, K. A., 1968]. Sistem *Doppler* untuk aplikasi *tracking* roket juga telah mulai dikembangkan di LAPAN sejak tahun 2013 [Wahyu

Widada, 2012]. Aplikasi ini digunakan untuk mengukur kecepatan roket berbasis perubahan frekuensi radio *transmitter* pada muatan roket pada saat diterima di stasiun pengamatan karena perubahan kecepatan. Percobaan untuk menguji prototipe sistem *Doppler tracking* ini telah dilakukan dengan uji peluncuran roket, tetapi masih pada stasiun tunggal dan baru dilakukan pertama kali, sehingga masih perlu dilakukan percobaan beberapa kali untuk mengetahui performansinya [Wahyu Widada, 2013]. Aplikasi ini juga dapat digunakan untuk pengukur kecepatan beberapa roket

secara serentak dengan menggunakan frekuensi *transmitter* yang berbeda-beda pada masing-masing muatan roket. Untuk aplikasi roket dengan peluncur lebih dari satu atau *Multiple Launch Rocket System* (MLRS), maka diperlukan data akuisisi yang dapat memproses sinyal *Doppler* dari masing-masing roket secara serentak [Gamble, A.E.; <http://www.army-technology.com>]. Untuk melakukan proses tersebut, maka diperlukan komponen ADC yang dapat mengukur secara serentak dengan jumlah kanal yang sesuai dengan jumlah roketnya. Kecepatan sampling data dan kecepatan proses sinyal *Doppler* ini sesuai dengan sinyal suara dengan frekuensi kurang dari 20 KHz, tetapi tergantung dengan frekuensi radio yang digunakan dan kecepatan maksimum roket yang akan diukur. Oleh karena itu, komponen elektronik yang digunakan relatif murah dan mudah diperoleh dengan mikrokontroller sebagai sistem kontrolnya. Data akuisisi berbasis mikrokontroller ini banyak diaplikasikan dalam berbagai sensor [Nungleppam Monoranjan Singh, 2012; B. Nkom, H. Musa, 2009; Mehmet Demirtas, Ibrahim Sefa, Erdal Irmak and Ilhami Colak, 2008; Bogdan, M.; Chicago Univ., IL; Samtleben D; Vanderlinde, K., 2005].

Tulisan ini membahas hasil pengembangan data akuisisi multi kanal untuk aplikasi *Doppler tracking* peluncuran roket jamak MLRS. Komponen elektronik yang digunakan adalah mikrokontroller, ADC, dan USB kontroller. Tipe ADC yang digunakan adalah ADS8528 dengan kemampuan konversi digital 16 bit dan pembacaan 8 kanal sinyal secara serentak (*simultaneous*). [Texas instruments] Prosesor yang digunakan untuk kontrol adalah ATMega32 dan komunikasi data dilakukan via USB dengan tipe FT232. [<http://www.ftdichip.com>] Kombinasi ketiga IC tersebut dapat menghasilkan data akuisisi yang sesuai dengan spesifikasi yang diperlukan untuk memproses sinyal *Doppler* secara serentak. *Software* yang digunakan untuk menam-

pillkan, merekam, dan memproses menggunakan MATLAB. Proses yang dilakukan di PC adalah penhitungan algoritma *Fast Fourier Transfom* (FFT) untuk menghitung spektrum dan menentukan frekuensi *Doppler*.

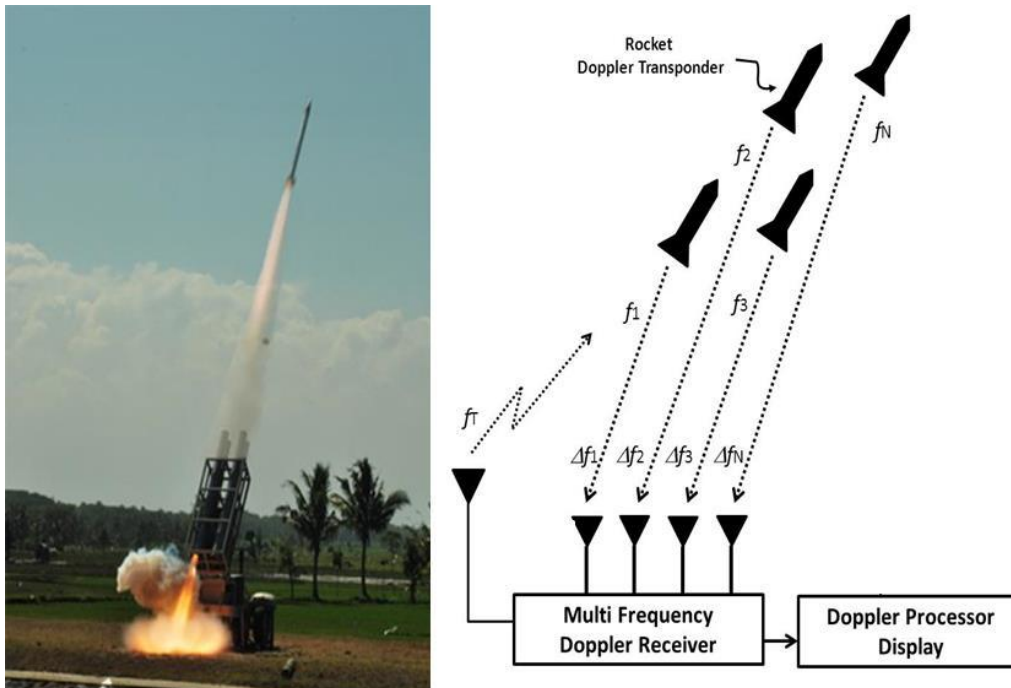
## 2 DATA AKUISISI DOPPLER TRACKING MLRS

Seperti terlihat pada Gambar 2-1, untuk aplikasi roket pada bidang pertahanan diperlukan sistem untuk meluncurkan roket secara berurutan dalam waktu yang hampir bersamaan. Sistem ini sangat efektif untuk menghancurkan lawan dengan jumlah roket yang lebih banyak ke arah yang sama [Gamble, A.E.; <http://www.army-technology.com>]. Untuk mendeteksi unjuk kerja masing-masing roket dalam pengembangan sistem ini, maka diperlukan sistem tracking roket yang dapat mengukur jarak maupun kecepatannya secara serentak. Oleh karena itu diperlukan secara khusus pengembangan sistem *Doppler tracking* yang multi frekuensi (*transponder* dan *receiver*), serta rancang bangun multi kanal DAS untuk memproses sinyal-sinyal tersebut [[www.army-technology.com](http://www.army-technology.com)].

Untuk tipe roket RX122 dengan desain kecepatan roket hingga 3 Mach, maka jika menggunakan radio pada frekuensi 480 MHz, frekuensi sinyal *Doppler* akan bervariasi dari nol hingga sekitar 1.650 Hz, semakin tinggi frekuensi yang digunakan maka perubahan frekuensinya secara linear juga akan semakin besar (jika menggunakan frekuensi 900 MHz, maka variasi sinyal hingga 3000 KHz). Dengan kata lain, frekuensi yang diobservasi  $f_{obs}(t)$  akan berubah sesuai dengan kecepatan relatif antara roket dengan stasiun penerima  $V(t)$ , sesuai dengan rumus sebagai berikut:

$$f_{obs}(t) = \left(1 + \frac{V(t)}{c}\right) f \quad (2-1)$$

DAS semacam ini, baik pada rangkaian analog maupun digital, serta *software* prosesnya memerlukan desain khusus.



Gambar 2-1: Multi Frequency Doppler Tracking untuk Multiple Launch Rocket System MLRS

## 2.1 Hardware Data Akuisisi

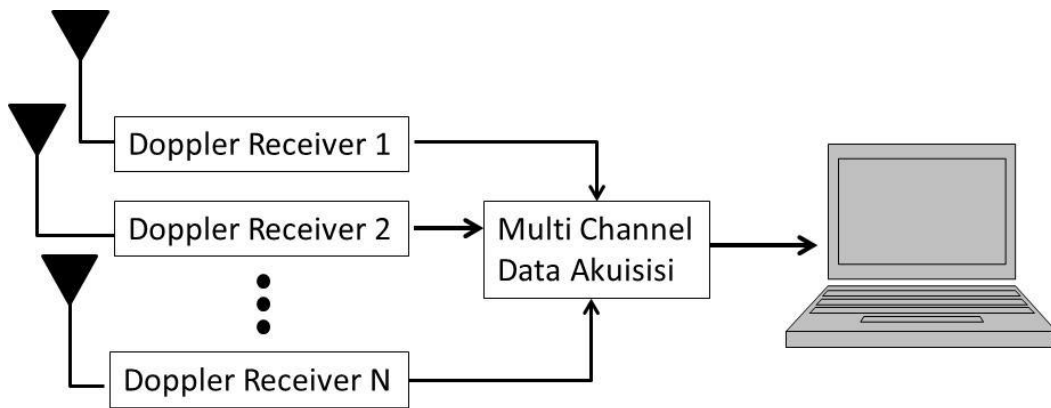
Aplikasi data akuisisi yang dikembangkan dapat dilihat pada sekema Gambar 2-2 berikut. Tujuan dari hardware ini adalah membaca sinyal Doppler dan mengirim ke PC dengan kecepatan dan akurasi yang cukup untuk dapat diproses dan dianalisa dalam domain frekuensi. Data akuisisi ini digunakan untuk membaca keluaran sinyal dari penerima *Doppler* yang berupa sinyal sinus yang berubah frekuensinya dari 0 Hz (*offset* frekuensi pada saat roket diam) hingga 3000 Hz, yang disebabkan oleh kecepatan roket. Frekuensi sinyal *Doppler* yang digunakan adalah band UHF dengan frekuensi 480-487 MHz dengan step maksimum 1 MHz untuk masing-masing delapan buah muatan roket pada sistem MLRS. Jumlah radio receiver  $N$  dalam prototipe ini adalah 8 buah, disesuaikan dengan desain MLRS dan jumlah kanal pada ADC yang digunakan. Hasil akhir dari seluruh proses sistem ini berupa informasi kecepatan roket yang dapat ditulis dengan persamaan berikut.

$$V_N(t) = \frac{\Delta f_N(t) \times c}{f} \quad (2-2)$$

Disini  $c$  adalah kecepatan rambat gelombang radio di udara sebesar  $3 \times 10^8$  m/detik, sedangkan  $\Delta f$  adalah perbedaan antara frekuensi pemancar dan frekuensi yang diterima di stasiun pengamat,  $N$  ( $N = 1, 2, 3, \dots, 8$ ) menunjukkan penomoran roket yang meluncur, dan ( $t$ ) adalah waktu saat masing-masing data diakuisisi oleh ADC.

Prototipe *Printed Circuit Board* (PCB) data akuisisi yang telah dibuat adalah seperti Gambar 2-3. Semua IC termasuk ADC, mikrokontroler, dan USB telah dibuat pada PCB. Sumber tegangan berupa DC 5 Volt, yang diambil dari *power supply* yang digunakan bersama dengan radio *receiver*. Komunikasi dari USB ke PC berupa data parallel 8 bit yang langsung dapat dibaca oleh *driver* yang telah disediakan, sehingga untuk mengirim data 16 bit, data dibagi menjadi 2 bagian yang dikirim secara bergantian.

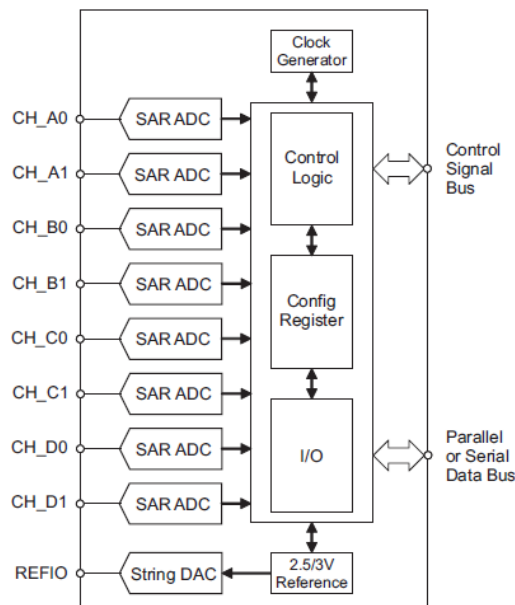
*Input* sinyal dari radio pada rentang tegangan antara nol hingga 2 Volt, sehingga tidak memerlukan pengkondisian sinyal tambahan pada prototipe ini. Kedelapan sinyal analog tersebut langsung dikoneksikan ke ADC seperti terlihat pada Gambar 2-4 (CH\_A0 hingga CH\_07).



Gambar 2-2: Skema *Doppler receiver* dengan data akuisisi multi kanal untuk tracking MLRS



Gambar 2-3: Prototype 8 kanal USB *Data Acquisition System (DAS)*



Gambar 2-4: Skema konversi sinyal analog ke digital secara simultan (ADS8528 Texas instruments)

Kontrol data dan komunikasi secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 2-5. Karena tipe ADC sudah simultan, maka tidak perlu lagi sinkronisasi data dari mikrokontroller. Jika menggunakan lebih dari satu ADC tipe ini (untuk 16 kanal Doppler), maka diperlukan sinkronisasi dua ADC dengan *clock generator* yang sama dari mikrokontroller. Kecepatan sampling data ini diatur pada 16 KHz, sehingga total waktu baca data dan pengiriman ke PC tepat pada 62.5 nsec. Kecepatan pengiriman data ini dapat diatasi dengan IC FT2232, yang mempunyai kemampuan hingga 12 Mb/s [http://www.ftdichip.com]. Jumlah data yang dikirim tiap detik adalah minimal 2.1 Mb/s, sehingga spesifikasi kecepataannya memenuhi syarat yang diperlukan.

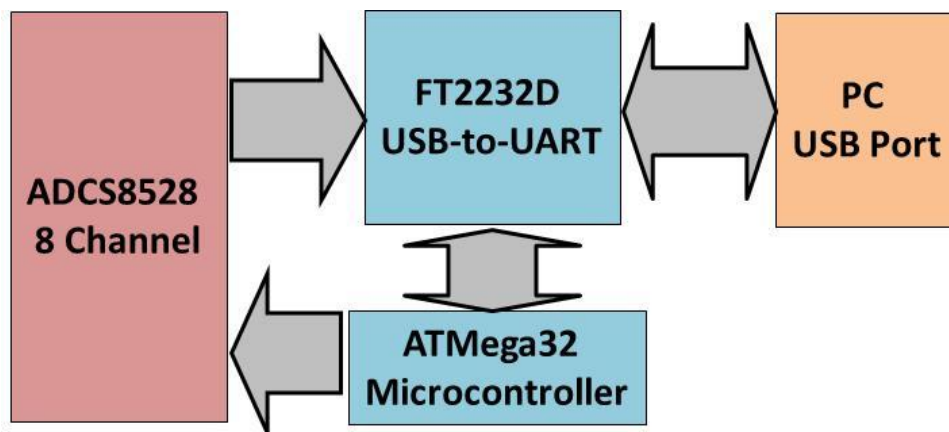
Daftar semua komponen utama yang digunakan dapat dirangkung seperti pada Tabel 2-1. Tipe ADC yang digunakan adalah ADS8528 sedangkan komunikasi data ke PC menggunakan FT2232 untuk tipe USB maupun serial.

## 2.2 Software Data Akuisisi

*Software* data akuisisi terdiri dari dua bagian, bagian pertama pada mikrokontroller dan yang kedua pada

PC. *Software* mikrokontroller digunakan untuk mengontrol ADC dan USB, serta untuk komunikasi data dengan PC. Komunikasi data antara PC dan perangkat keras data akuisisi seperti terlihat pada Gambar 2-6.

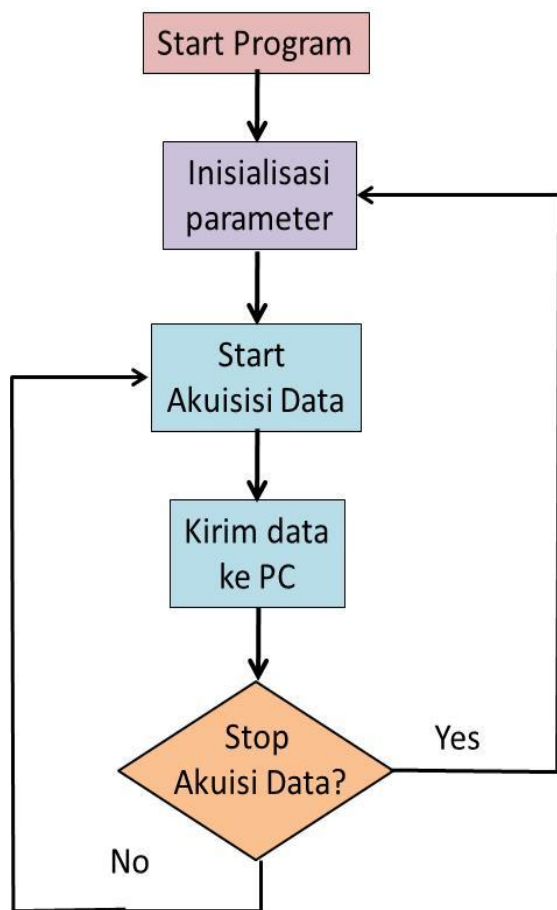
Komunikasi dengan PC digunakan untuk memberikan perintah start dan stop akuisisi data, serta untuk setting parameter awal, seperti kecepatan sampling data dan jumlah kanal. Pemrograman ini berbasis bahasa basic dan kemudian diprogram ulang ke mikrokontroller. *Software* yang kedua digunakan di PC untuk memerintah, membaca, memproses, dan menyimpan. Agar lebih mudah, maka digunakan *software* MATLAB. Proses penting pada *software* ini adalah perhitungan frekuensi Doppler dengan algoritma FFT. Perintah dari PC ke *hardware* hanya sebatas perintah mulai atau berhenti dengan mengirimkan karakter “**START**” dan “**STOP**” yang dapat dideteksi oleh mikrokontroller walaupun pada saat proses berjalan. Inisialisasi parameter yang lain seperti kecepatan *sampling* dan jumlah kanal dijadikan konstan (16 KHz dan 8 kanal) pada saat program mulai dijalankan.



Gambar 2-5: Blok diagram akuisisi 8 channel simultan untuk *Doppler tracking* MLRS

Tabel 2-1: KOMPONEN DAN SOFTWARE YANG DIGUNAKAN UNTUK MEMBUAT PROTOTIP

Bahan elektronik/Software	Tipe IC
Analog to Digital Converter 16 bit, 8 channel	ADS8528 (Analog Device)
USB/Serial data communication	FT2232 (FTDI)
8 bit Microcontroller	AVR ATmega32 (Atmel)
PC Software	MATLAB



Gambar 2-6: Flowchart algoritma komunikasi PC dengan Data Acquisition System (DAS)

### 3 PERCOBAAN DAN ANALISIS DATA

Percobaan dilakukan dengan menggunakan prototipe *Doppler receiver* yang telah dikembangkan seperti Gambar 3-1. Prototip *receiver* ini hanya terdiri dari 1 radio *receiver* untuk deteksi sinyal *Doppler*, sehingga untuk percobaan kali ini sinyal tersebut dibuat menjadi 8 cabang dengan menggunakan operasional amplifier untuk masing-masing cabang. Percobaan dilakukan dengan *tranponder* roket dalam keadaan diam dengan frekuensi 465 MHz. Untuk mengembangkan sistem *Doppler tracking* aplikasi MLRS, hanya diperlukan radio *Doppler receiver* dengan jumlah roket yang akan dilacak kecepatannya dan menggunakan data akuisisi multi kanal yang sedang dikembangkan ini.

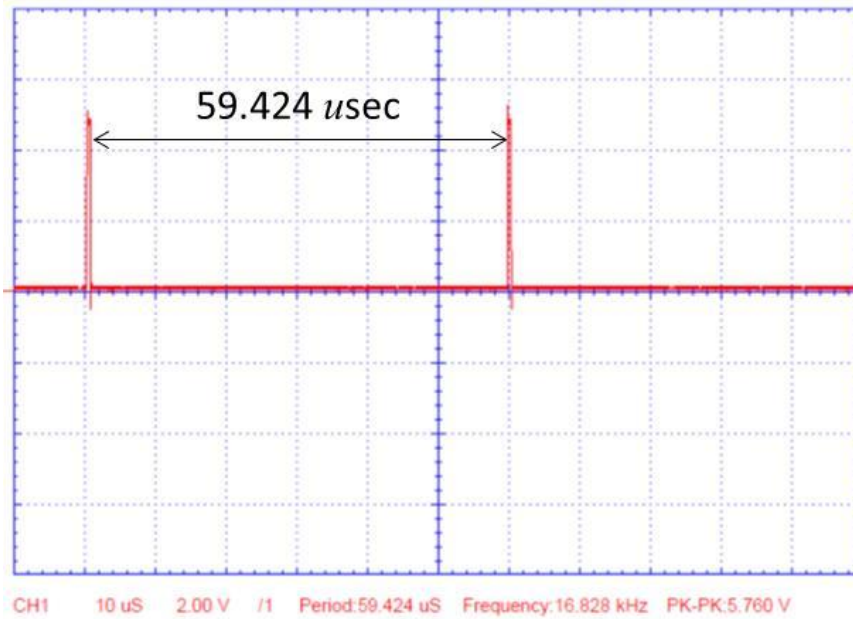
Gambar 3-2 adalah pengukuran kecepatan transfer data dengan menggunakan osiloskop digital. Pada saat sinyal 'high' atau 5 Volt adalah proses

pengambilan data ADC, sedangkan saat 'low' atau 0 Volt adalah saat pengiriman data. Periode waktu yang diperlukan adalah sekita 59.4 mikro detik atau kecepatan pengiriman data 16.8 KHz, sehingga dengan melakukan penambahan *delay* waktu menjadi 62.5 mikro detik kecepatan sampling menjadi tepat 16 KHz. Pengaturan format data dan *delay* untuk merubah kecepatan *sampling* data ini dilakukan di mikrokontroller yang dapat dikontrol dengan PC. Akan tetapi, karena DAS ini hanya dirancang secara khusus untuk aplikasi MLRS, maka inisialisasi parameter awal hanya dilakukan pada saat program mulai dijalankan (jumlah kanal 8 buah dan kecepatan 16 KHz).

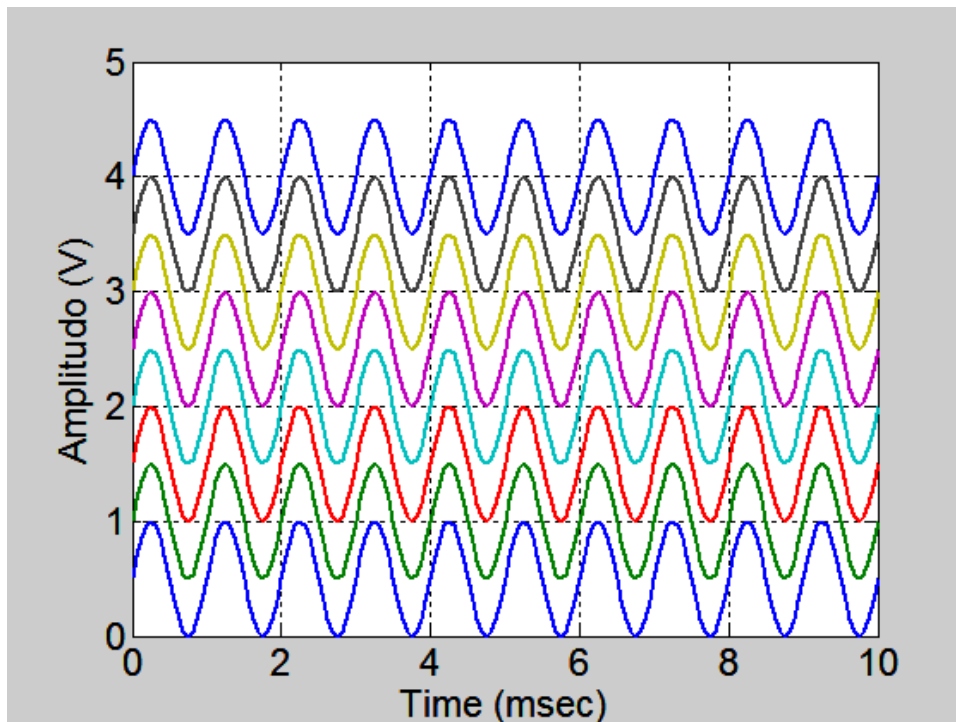


Gambar 3-1: Doppler receiver tracking roket untuk percobaan

Gambar 3-3 adalah contoh hasil akuisisi data 8 kanal dari sinyal *Doppler* 1 KHz dengan sampling data 16 KHz secara serentak (frekuensi *receiver* digeser 1 KHz dari frkuensi *transmitter*). Terlihat sinyal secara serentak dapat berhasil diakuisisi dengan baik. Karena sumber sinyal hanya satu dari radio *Doppler receiver*, maka data sinyal ini dapat digunakan untuk evaluasi sinkronisasi data 8 kanal.



Gambar 3-2: Testing kecepatan transfer data 8 channel dengan osiloskop digital



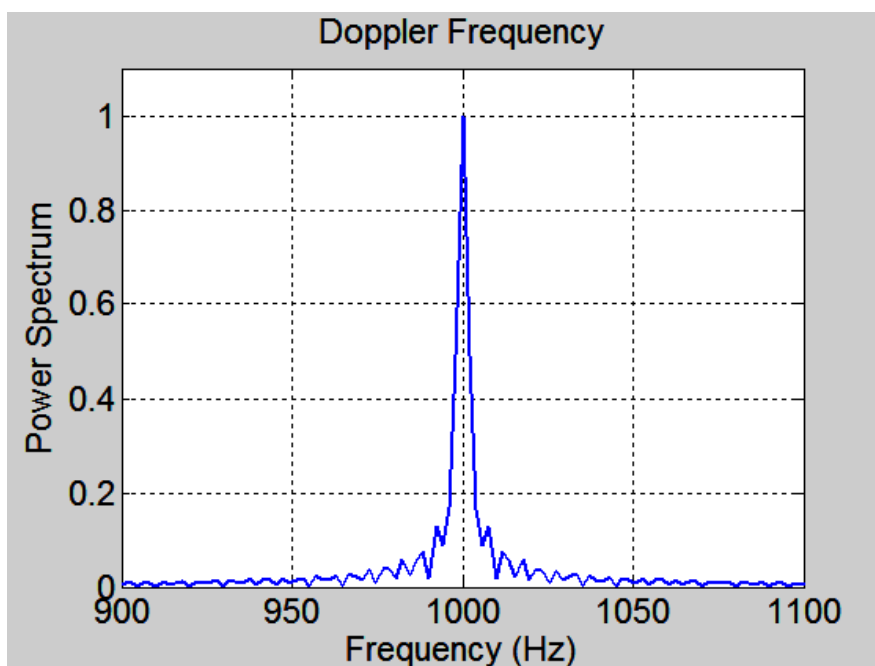
Gambar 3-3: Screen shot percobaan 8 kanal Doppler sinyal dengan frekuensi 1000 Hz

Jika hasil menunjukkan kurva yang sama, maka terbukti hasil akuisisi sudah sinkron. Data diambil dengan waktu tiap *frame* 10 msec, maksimum amplitudo adalah 1 Volt. Data dikirim dengan frame yang terdiri dari 8 buah sinyal. Untuk membedakan antara data satu dengan data yang lain, maka disisipkan karakter “,”. Masing-masing frame data terdiri dari deretan data seperti terlihat pada Gambar 3-4.

```

$Data1,Data2,Data3, . . . ,Data8$
$Data1,Data2,Data3, . . . ,Data8$
$Data1,Data2,Data3, . . . ,Data8$
.
.
$Data1,Data2,Data3, . . . ,Data8$
    
```

Gambar 3-4: Format data masing-masing frame 8 kanal data



Gambar 3-5: Hasil perhitungan sinyal *Doppler* pada frekuensi 1000 Hz dengan FFT

Hasil perhitungan spektrum dengan menggunakan algoritma FFT adalah seperti pada Gambar 3-5. Frekuensi *Doppler* yang terukur adalah 1000 Hz dengan variasi kesalahan sekitar 5 Hz. Perbandingan hasil perhitungan frekuensi dengan FFT pada PC dan dari osiloskop mempunyai nilai yang sama, dengan demikian kecepatan *sampling* data DAS dapat tervalidasi.

Nilai kesalahan ini sudah termasuk kestabilan frekuensi pembawa radio pemancar dan radio penerima, serta semua komponen elektronik baik analog maupun digital pada sistem data akuisisi ini. Variasi frekuensi 10 Hz pada sistem ini menunjukkan variasi kecepatan yang timbul sekitar 6.44 meter/detik. Berdasarkan hasil percobaan diatas, prototip yang telah dikembangkan dapat berhasil digunakan untuk akuisisi data dengan spesifikasi yang diperlukan untuk membuat sistem *Doppler receiver* 8 kanal untuk diaplikasikan pada MLRS. Prototip ini akan menjadi bagian penting pada pengembangan sistem *Doppler tracking* roket yang sedang dikembangkan di LAPAN.

#### 4 KESIMPULAN

Telah dilakukan perancangan dan pembuatan prototip data akuisisi 8

kanal secara simultan dan khusus untuk sistem *Doppler receiver* yang dapat digunakan pada tracking MLRS hingga 8 buah roket. Kemampuan data akuisisi adalah 16 bit ADC dengan kecepatan *sampling* hingga 16 KHz secara *realtime* dan simultan 8 kanal. Penambahan jumlah kanal dapat dilakukan dengan menggunakan dua prototip DAS yang telah dikembangkan dan digunakan dengandua buah port USB. Data akuisisi ini akan diaplikasikan untuk uji peluncuran roket tipe MLRS yang digunakan pada roket pertahanan pada saat seluruh sistem (MLRS dan sistem *multi-channel Doppler tracking*) sudah selesai dibangun.

#### DAFTAR RUJUKAN

- B. Nkom, H. Musa, 2009. *Development of a Novel Microcontroller Based Data Logger*, 2nd International Conference on Adaptive Science & Technology, ICAST, pp 314-324. (IEEE Conference).
- Bjelland,B., 1963. *A Doppler Tracking System for Small Rocket Trajectories*, Norwegian Defence Research Establishment Kjeller.
- Bogdan, M.; Chicago Univ., IL; Samtleben D.; Vanderlinde, K., 2005. *Simultaneous sampling ADC data*



- acquisition system for the QUIET experiment*, Nuclear Science Symposium Conference Record, IEEE (Volume:2 ).
- Gamble, A.E., *Low cost guidance for the Multiple Launch Rocket System (MLRS) Artillery Rocket*, Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE (Volume:16, Issue: 1).
- Hall, J. E.; Turner, M. D., 1975. *A Doppler Tracking System for Research Rockets*, International Aerospace Instrumentation Symposium, 8th, Cranfield, Beds., England, Mar. 24-27, 1975, Proceedings. (A75-28765 12-06) London, Royal Aeronautical Society, 12 p.  
<http://www.army-technology.com/projects/mlrs/>.
- <http://www.ftdichip.com/Products/ICs/FT2232D.htm>, FT2232D Dual USB to Serial UART/FIFO IC, Transfer Data Rate 300 to 3 Mbaud, USB 2.0 Full Speed (12Mbits/Second).
- Mehmet Demirtas, Ibrahim Sefa, Erdal Irmak and Ilhami Colak, 2008. *Low-cost and high sensitive Microcontroller Based Data Acquisition System for Renewable Energy sources*", International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and motion (SPEEDAM 2008), pp 196-199. (IEEE Conference).
- Nungleppam Monoranjan Singh, et al., 2012. *Design and Development of Low Cost Multi-Channel USB Data Acquisition System for the Measurement of Physical Parameters*, International Journal of Computer Applications (0975-888) Volume 48- No.18.
- Steele, K. A., 1968. *A Single Station Doppler Range Technique For Sounding Rocket Trajectories*, National Research Council of Canada Ottawa (Ontario) Radio and Electrical Engineering Div.
- Texas instrumentss, ADS8528, 16-Bit, Eight-Channel, Simultaneous Sampling ADCs (Rev. A).
- Wahyu Widada, 2012. *Radio Doppler Method for Measuring Velocity of Rocket R200*, Jurnal Teknologi Dirgantara.
- Wahyu Widada, 2013. *Hasil Analisis Eksperimen Sistem Doppler Tracking untuk Uji Terbang Roket RX200*," Prosiding SMART-Teknosim UGM Yogyakarta.

