

Disain dan Implementasi Modul Akuisisi Data sebagai Alternatif Modul DAQ LabVIEW

Indar Sugiarto, Thiang, Timothy Joy Siswanto

Jurusan Teknik Elektro – Universitas Kristen Petra

Email: indi@petra.ac.id, thiang@petra.ac.id

ABSTRAK

Sebuah alternatif modul *data acquisition system* (DAS) yang bisa diakses menggunakan LabVIEW dipaparkan dalam paper ini. Keuntungan utama modul DAS ini adalah dapat dibuat dengan harga sangat terjangkau dan menghasilkan performa yang baik seperti yang biasa digunakan dalam sistem kontrol di industri. Modul DAS tersebut dikendalikan oleh sebuah mikrokontroler AVR ATmega64 yang akan berkomunikasi secara *bidirectional* dengan LabVIEW menggunakan metode komunikasi serial. Sistem ini dapat digunakan untuk mengakuisisi 8-bit digital input, 8-bit digital output, 8 kanal analog input dan juga 2 kanal analog output. Digital input dapat digunakan untuk tegangan 0-5V dan 0-24V. Digital output dibuat bersifat *open collector* dengan tegangan “low” sebesar 0,276V. Untuk analog input maupun analog output dari sistem ini mempunyai rata-rata *error* sebesar 14,47mV untuk rentang input 1-5V; 72,34mV untuk rentang input 0-10V; 0,037mA untuk rentang input 4-20mA dan 16,2mV untuk rentang output 0-10V. Sistem ini tidak dirancang untuk digunakan pada aplikasi yang membutuhkan ketelitian waktu yang tinggi.

Kata kunci : sistem akuisisi data, mikrokontroler, AVR, LabVIEW, rangkaian pengkondisi sinyal, instrumentasi.

ABSTRACT

This paper describes about an alternative module of data acquisition system (DAS), which can be accessed by LabVIEW. The advantage of this DAS module is inexpensive and it has good performance as well as module used in industrial control system. This DAS module is controlled by ATmega64 AVR microcontroller, which will communicate with the LabVIEW by using bidirectional serial communication. This DAS module has 8-bit digital input, 8-bit digital output, 8 channel analog inputs, 2 channel analog outputs. Voltage levels of digital input are 0 – 5 V and 0 – 24 V. The digital output of this module is an open collector terminal with “low” level voltage of 0.276 V. Analog input of this DAS module has three ranges. They are 1 – 5 V with average error of 14.47 mV, 0 – 10 V with average error of 72.34 mV, and 4 – 20 mA with average error of 0.037 mA. Range of analog output of this module is 0 – 10 V with average error of 16.2 mV. This DAS module is not designed for applications that need high accuracy of time.

Keywords: acquisition data system, microcontroller, AVR, LabVIEW, signal conditioner circuit, instrumentation.

PENDAHULUAN

Dalam aplikasi sistem kontrol di industri, kebutuhan untuk pengambilan dan pengolahan data menjadi semakin kompleks, semakin variatif dan semakin banyak. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu perangkat yang dapat menangani kebutuhan tersebut, salah satunya adalah suatu sistem yang disebut dengan *Data Acquisition System* (DAS). Tugas utama dari DAS adalah untuk mengakuisisi sinyal dari sensor, yang biasanya berupa sinyal analog, mengubahnya menjadi sinyal digital dan memberikannya kepada sistem berikutnya yang akan memanfaatkan sinyal digital tersebut misalkan kontroller yang mengendalikan sebuah *robot* atau *plant* industri [1].

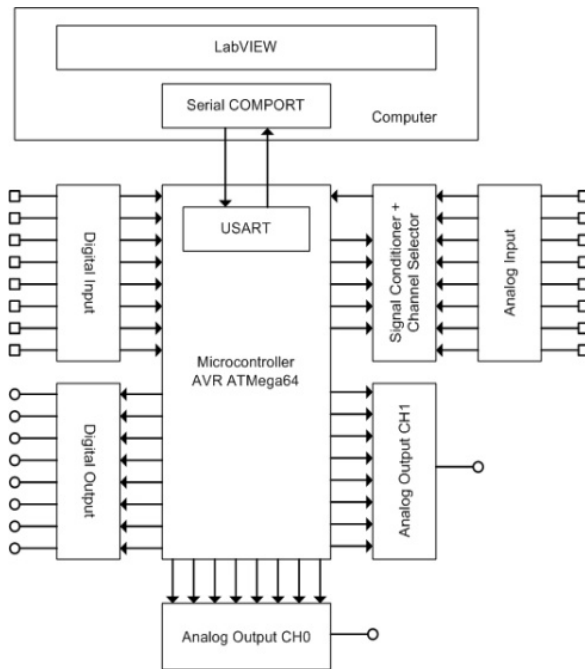
Beberapa fungsionalitas yang bersifat opsional kadang juga tersedia dalam modul DAS seperti misalkan filter, modulator, dan sebagainya. DAS tersebut biasanya dikendalikan oleh program, baik yang berjalan sebagai *embedded system* maupun aplikasi dalam sebuah *personal computer* (PC). Salah satu program aplikasi yang cukup terkenal dalam dunia industri adalah LabVIEW yang dibuat oleh perusahaan National Instruments. Selain membuat LabVIEW, National Instruments juga memproduksi beberapa tipe DAS yang bisa digunakan oleh LabVIEW [2]. Masalahnya adalah kebanyakan DAS tersebut dijual dengan harga yang mahal sehingga agak menyulitkan untuk kegiatan eksperimental dalam penelitian yang bersifat mandiri. Paper ini menjelaskan salah satu cara membuat sebuah DAS yang bisa diakses oleh LabVIEW sebagai alternatif DAS yang diproduksi oleh National Instruments. Paper ini disusun dengan sistematika sebagai berikut. Di bagian pendahuluan dijelaskan secara singkat latar

Catatan: Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juni 2008. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Elektro volume 8, nomor 2, September 2008.

belakang permasalahan dan tujuan penelitian. Kemudian dilanjutkan dengan perancangan sistem, baik perancangan perangkat keras maupun perangkat lunak. Selanjutnya, pada bagian implementasi dan pengujian akan dijelaskan proses dan hasil pembuatan sistem serta mekanisme pengujiannya. Paper ini ditutup dengan diskusi dan kesimpulan.

PERANCANGAN SISTEM

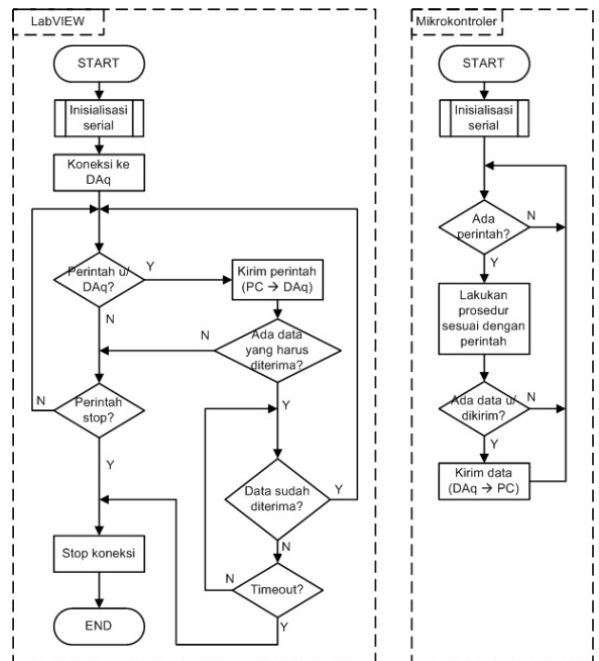
Untuk membuat sebuah modul DAS, beberapa rangkaian elektronika harus diintegrasikan, seperti rangkaian pengkondisi sinyal, *Analog to Digital Converter* (ADC), *Digital to Analog Converter* (DAC), rangkaian multiplexing/demultiplexing, mikrokontroler dan juga pemrograman pada komputer. Modul akuisisi data ini dirancang mempunyai *input* maupun *output* yang berupa data digital dan analog. Berikut ini adalah diagram blok sistem secara keseluruhan.



Gambar 1. Diagram blok sistem akuisisi data.

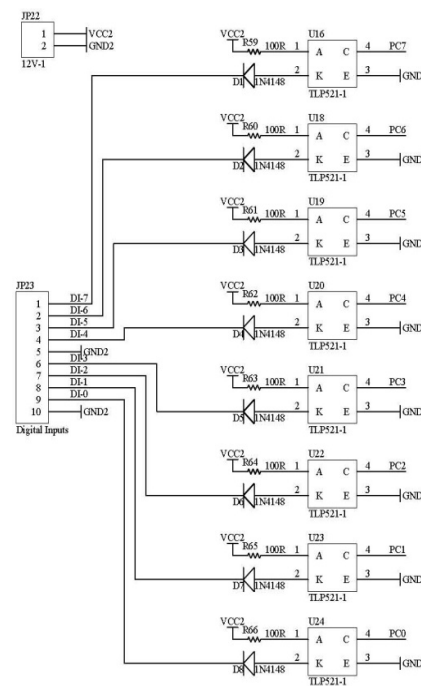
Cara kerja sistem adalah sebagai berikut. Komputer yang menjalankan LabVIEW difungsikan sebagai *master* yang mengirimkan perintah dan mikrokontroler difungsikan sebagai *slave* yang menunggu perintah dan data. dalam sistem ini, mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler AVR ATmega64. Mikrokontroler tidak pernah mempunyai inisiatif untuk melakukan pengiriman data ke komputer. Beberapa format perintah sudah diatur di dalam mikrokontroler, sehingga ketika LabVIEW mengirimkan suatu perintah, maka mikrokontroler akan memeriksa perintah tersebut, membandingkan dengan format yang ada dan menjalankan prosedur sesuai dengan perintah yang diberikan. Alur kerja

perangkat keras pada sistem akuisisi data adalah sebagai berikut.



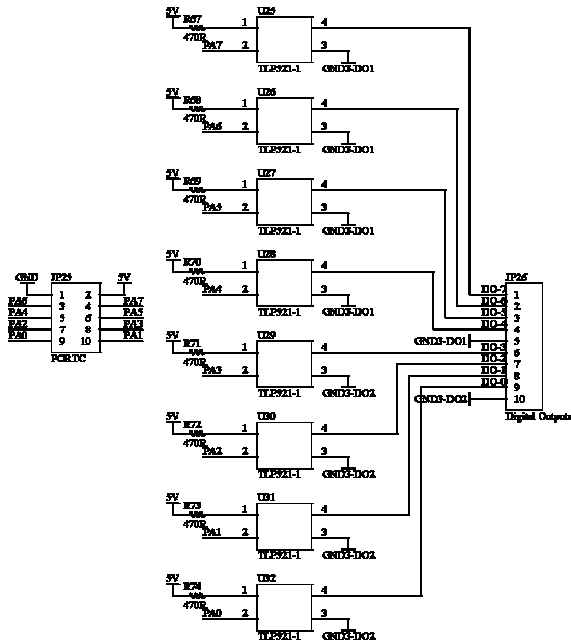
Gambar 2. Alur kerja sistem akuisisi data.

Digital *inputs* yang disediakan dalam penelitian ini berjumlah delapan buah dimana masing-masing *input* pin diisolasi oleh sebuah photocoupler TLP521-1 untuk meminimalkan kerusakan yang disebabkan oleh kesalahan ketika menggunakan digital *inputs-outputs* yang tidak sesuai dengan batasan perangkat keras. Berikut ini adalah rangkaian yang digunakan untuk digital *inputs*.



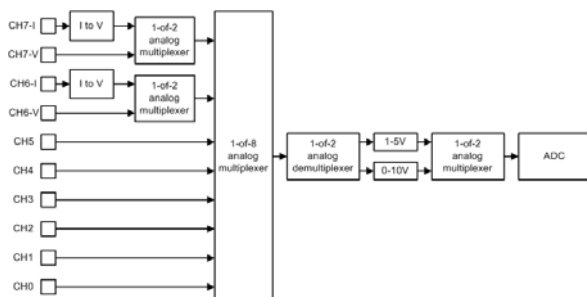
Gambar 3. Rangkaian digital *inputs*

Sama seperti digital *inputs*, jumlah digital *outputs* yang ada pada perangkat akuisisi data yang dibuat adalah delapan buah. Penggunaan TLP521-1 sebagai upaya mengisolasi *output* dari rangkaian lain juga dilakukan. Oleh karena itu terminal *ground* pada digital *outputs* sebaiknya dipisah dari titik *ground* rangkaian lainnya.



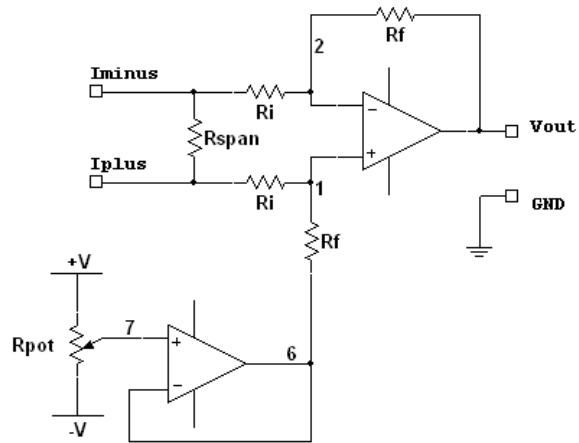
Gambar 4. Rangkaian *open collector* digital *outputs*

Sistem akuisisi data yang dibuat dalam penelitian ini mempunyai delapan kanal *input* analog dengan resolusi sebesar 10-bit. *Input* analog ini dirancang dengan memanfaatkan ADC internal dari mikrokontroler ATmega64. Sinyal *input* ini akan dilewatkan melalui beberapa rangkaian analog multiplexer/demultiplexer dan juga rangkaian pengkondisi sinyal. Untuk *input* yang berupa arus, dalam perangkat terdapat dua kanal terpisah yang dapat digunakan. Berikut ini adalah diagram blok sistem *multiplexing* dan *demultiplexing* yang digunakan.



Gambar 5. Diagram blok sistem analog *input*

Rangkaian I to V yang digunakan dalam sistem akuisisi data ini menggunakan metode *floating load*, seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 6. Rangkaian I to V *floating load*

Jika R_f sebesar $15k\Omega$ dan R_i sebesar $12k\Omega$ maka didapatkan R_{SPAN} sebesar:

$$R_{SPAN} = \frac{V_b - V_a}{\frac{R_f}{R_i}(I_b - I_a)} \quad (1)$$

$$R_{SPAN} = \frac{5 - 1}{\frac{15000}{12000}(0,02 - 0,004)} \quad (2)$$

$$R_{SPAN} = \frac{4}{1,25 \times 0,016} = 200\Omega \quad (3)$$

Perhitungan tegangan *offset* yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

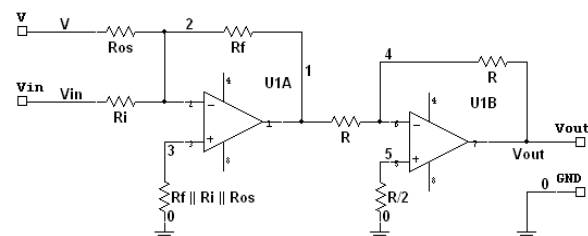
$$V_z = V_a - \frac{R_f}{R_i}(I_a \times R_{SPAN}) \quad (4)$$

$$V_z = 1 - \frac{15000}{12000}(0,004 \times 200) \quad (5)$$

$$V_z = 1 - 1,25 \times 0,8 = 0V \quad (6)$$

Nilai V_z diatur menggunakan R_{pot} pada rangkaian I to V pada gambar 6 di atas.

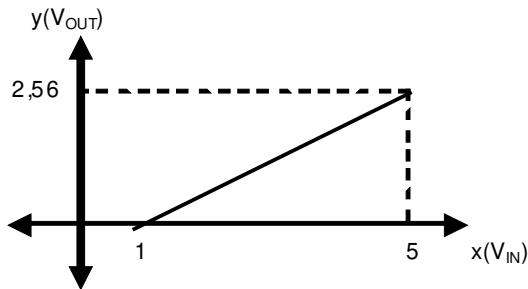
Rangkaian *span-zero* yang digunakan dalam sistem akuisisi data ini (lihat Gambar 5 di atas) berjumlah dua buah, yaitu untuk *input range* 1-5V dan untuk *input range* 0-10V. Rangkaian *span-zero* yang digunakan adalah rangkaian berikut ini.



Gambar 7. Rangkaian *span-zero* pada sistem akuisisi data

Perlu diperhatikan, karena tegangan referensi ADC menggunakan 2,56V maka semua rangkaian *span-*

zero disesuaikan untuk *input* ADC 0-2,56V. Untuk mencari elemen dari rangkaian *span-zero* dengan *input* 1-5V, maka persamaan garis lurus harus didapatkan terlebih dahulu.



Gambar 8. Persamaan garis lurus untuk *input* 1-5V

Dengan menggunakan kurva di atas maka,

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \quad (7)$$

$$\frac{y - 0}{2,56 - 0} = \frac{x - 1}{5 - 1} \quad (8)$$

$$y = 0,64x - 0,64 \quad (9)$$

Jika R_f ditentukan sebesar $1k\Omega$ dan $V_{os} = -12V$ maka didapat,

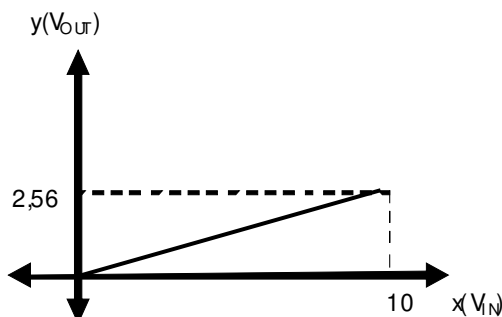
$$R_i = \frac{R_f}{m} \quad (10)$$

$$R_i = \frac{1000}{0,64} = 1562,5\Omega \quad (11)$$

$$R_{os} = \frac{R_f}{b} V_{os} \quad (12)$$

$$R_{os} = \frac{1000}{-0,64} (-12) = 18750\Omega \quad (13)$$

Rangkaian *span-zero* yang digunakan untuk memanipulasi tegangan *input* 0-10V sama dengan rangkaian *span-zero* untuk tegangan 1-5V Gambar 7. Berikut ini adalah perhitungan untuk mendapatkan nilai resistor yang dibutuhkan.



Gambar 9. Persamaan garis lurus untuk *input* 0-10V

Dengan menggunakan kurva di atas, maka persamaan garis lurus adalah sebagai berikut.

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \quad (14)$$

$$\frac{y - 0}{2,56 - 0} = \frac{x - 0}{10 - 0} \quad (15)$$

$$y = 0,256x \quad (16)$$

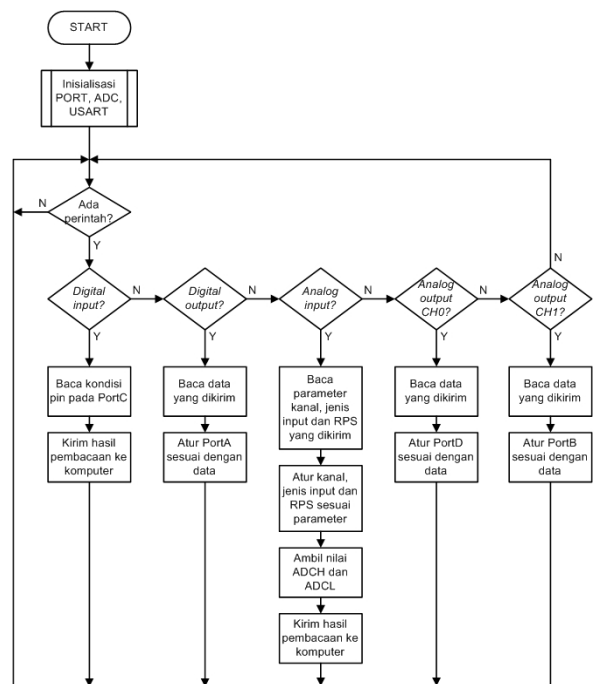
Jika R_f ditentukan sebesar $1k\Omega$ dan $V_{os} = 0V$ maka dapat dihitung besarnya resistor sisanya sebagai berikut,

$$R_i = \frac{R_f}{m} \quad (17)$$

$$R_i = \frac{1000}{0,256} = 3906,25\Omega \quad (18)$$

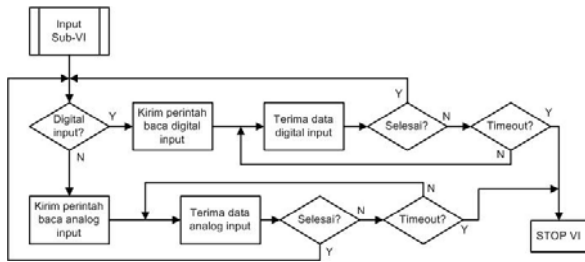
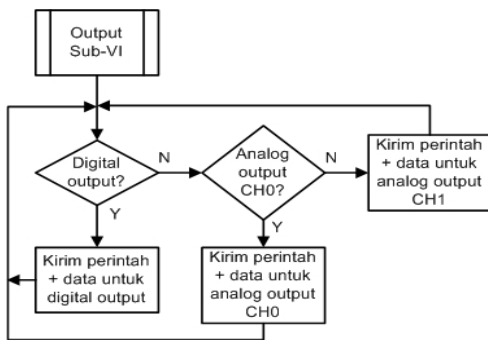
Nilai R_{os} tidak perlu dicari karena berdasarkan hasil persamaan 16, tegangan *offset* tidak dibutuhkan dalam rangkaian ini.

Perangkat lunak yang diimplementasikan pada mikrokontroler AVR ATmega64 dibuat menggunakan sebuah program dari ATMEL yaitu AVRStudio. Program ini dirancang untuk memeriksa setiap perintah/data yang dikirimkan LabVIEW. Berikut ini adalah *flowchart* yang digunakan dalam menyusun program pada mikrokontroler.



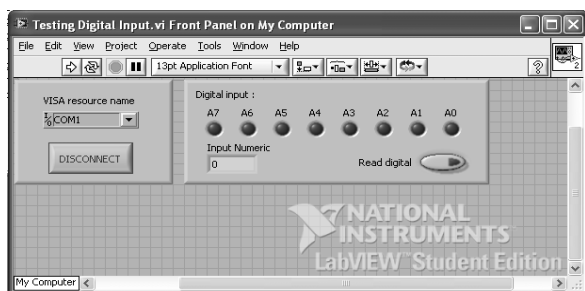
Gambar 10. Alur kerja dari mikrokontroler AVR ATmega64

Sedangkan pada bagian LabVIEW, program untuk membaca *input* dari mikrokontroler maupun mengirim *output* ke mikrokontroler dibuat dalam bentuk sub-VI. Berikut ini adalah diagram alir dari sub-VI untuk proses *input* maupun *output* antara mikrokontroler dengan LabVIEW.

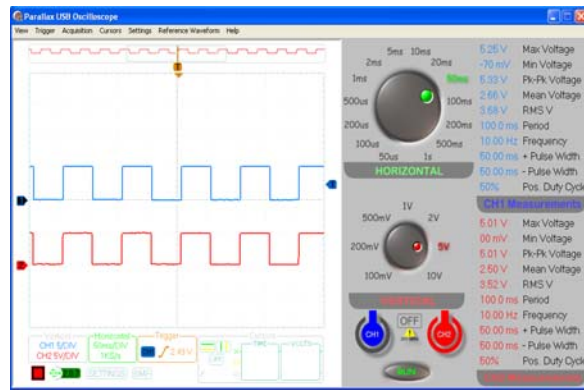
Gambar 11. Alur kerja pada *input* sub-VIGambar 12. Alur kerja pada *output* sub-VI

IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

Dari hasil perancangan seperti dijelaskan di atas, dilakukan pengujian terhadap digital *input*, digital *output*, analog *input* dan analog *output*. Pengujian digital *inputs* dilakukan dengan dua metode. Metode yang pertama adalah dengan membuat suatu program sederhana pada LabVIEW yang menampilkan status dari masing-masing *input* pin. Tujuan dari percobaan berikut ini adalah mengetahui tegangan *threshold* dari digital *inputs* yang telah dibuat. Berikut ini adalah tampilan *front panel* dari program untuk menampilkan status digital *inputs*.

Gambar 13. Tampilan program untuk menampilkan status dari digital *input*

Metode kedua yang digunakan adalah menggunakan *input* yang berupa gelombang kotak dari sebuah *function generator* kemudian gelombang *input* akan dibandingkan dengan gelombang yang terbaca pada *input* pin mikrokontroler. Tujuannya adalah mengetahui kemampuan *switching* dari photocoupler TLP521-1 yang digunakan. Berikut ini adalah hasil percobaan yang sudah dilakukan.

Gambar 14. Hasil pengujian digital *input* pada frekuensi 10Hz

Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa penggunaan frekuensi diatas 1kHz akan membuat *level* tegangan logika “high” akan semakin turun. Berikut adalah tabel hasil pembacaan gelombang.

Tabel 1. Hasil Pengujian Pada *Digital Input*

Function Generator			Hasil Pembacaan		
Frek (Hz)	+ pulse (μS)	- pulse (μs)	Vpp (V)	+ pulse (μS)	- pulse (μs)
1	504000	504000	5.01	504000	504000
10	50000	50000	5.01	50000	50000
100	5000	4900	5.01	4700	5200
1000	500	500	4.15	360	640
1100	450	450	3.92	310	590
1200	420	410	3.76	290	540
1400	350	360	3.37	250	460
1600	320	310	3.05	210	410
1800	280	276	2.66	180	376
2000	240	236	2.27	156	324
4000	124	122	1.01	76	172
6000	82	82	0.54	50	114
8000	62	62	0.39	28	96
10000	48	48	0.31	40	60

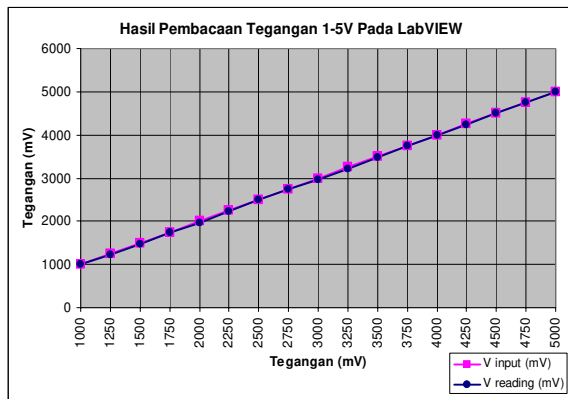
Dari tabel 1 di atas, dapat dilihat bahwa ketika frekuensi *input* semakin tinggi, akan ada penurunan pada tegangan pada *input pin* mikrokontroler. Berdasarkan *datasheet* AVR ATmega64, tegangan minimal untuk logika “high” adalah sebesar 3V (pada Vcc sebesar 5V). Sehingga digital *inputs* hanya mampu mengakomodasi *input* dengan frekuensi hingga sekitar 1600Hz. Limitasi ini disebabkan oleh penggunaan photocoupler TLP521-1 yang mempunyai batasan waktu untuk mencapai logika “high”.

Pengujian digital *outputs* dilakukan dengan cara membuat sebuah program pada LabVIEW dimana program tersebut berfungsi sebagai pengatur saklar. Tampilan *front-panel* program LabVIEW ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

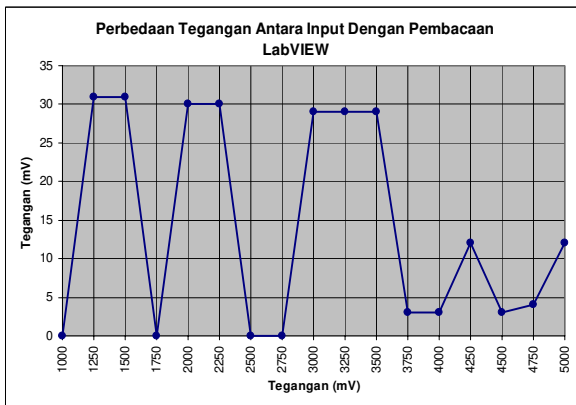


Gambar 15. Tampilan program untuk menguji digital outputs

Metode pengukuran yang digunakan dalam menguji fungsi analog *input* adalah dengan menggunakan *input* yang berasal dari DC Voltage Current Standard. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kesalahan yang terjadi dari sistem yang telah dibuat. Hasil pengujian tegangan *input* dengan range 1-5V adalah sebagai berikut.



(a)



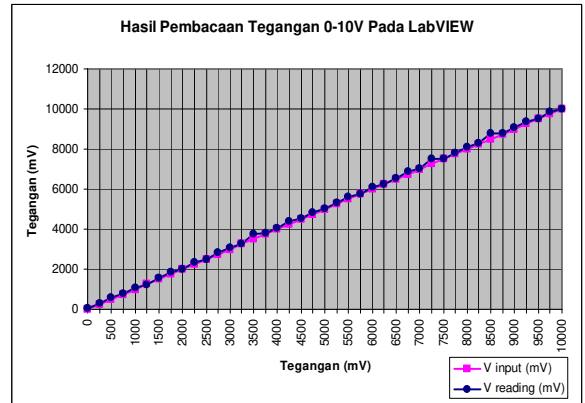
(b)

Gambar 16. Grafik hasil pengujian tegangan *Input* menggunakan range 1-5V (a) dan perbedaan tegangan *input* menggunakan range 1-5V (b)

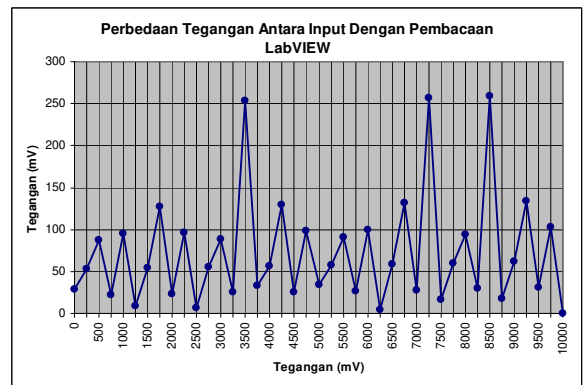
Dari hasil pengujian didapatkan perbedaan tegangan yang bervariasi. Perbedaan maksimal saat pembacaan tegangan terjadi pada tegangan *input* sebesar 1250mV dan 1500mV dengan besar perbedaan tegangan sebesar 31mV. Hasil yang didapatkan dari pengujian pada tegangan input 1-5V cukup bagus

karena prosentase kesalahan tertinggi hanya 2,48% pada tegangan *input* 1250mV.

Pengujian kedua adalah pengukuran tegangan *input* yang dilakukan dengan menggunakan rangkaian pengkondisi sinyal 0-10V. Hasilnya adalah sebagai berikut.



(a)



(b)

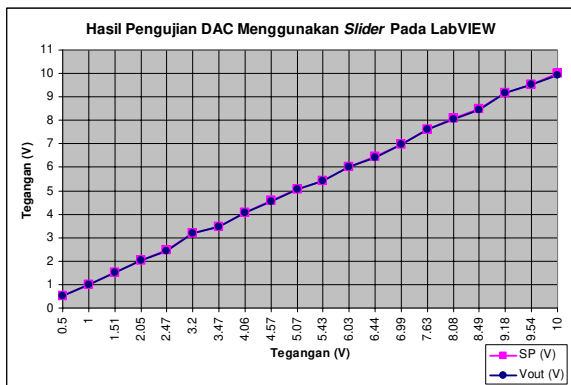
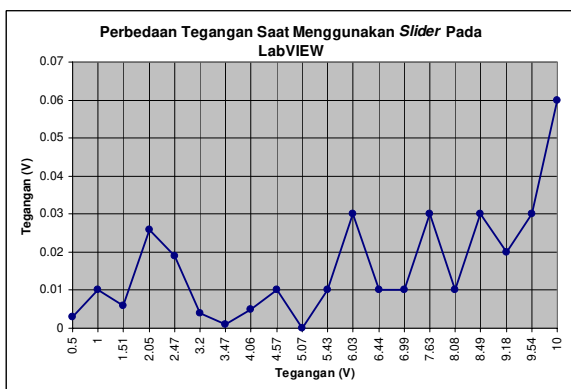
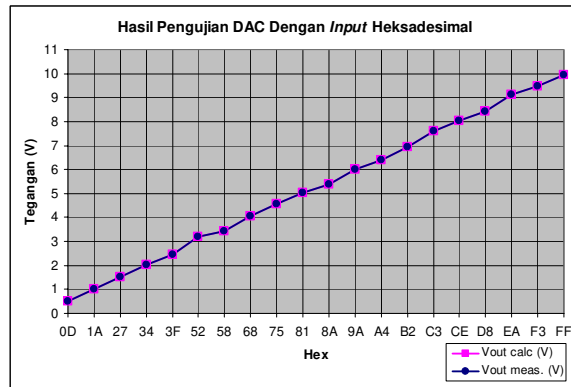
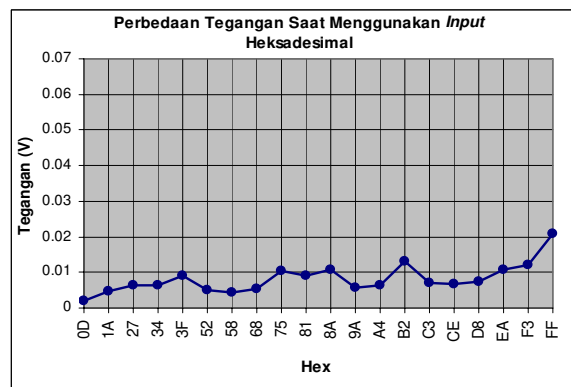
Gambar 17. Grafik hasil pengujian tegangan *input* menggunakan range 0-10V (a) dan grafik perbedaan tegangan *input* menggunakan range 0-10V (b)

Pada percobaan analog *inputs* menggunakan rangkaian pengkondisi sinyal 0-10V, terdapat 3 nilai yang mempunyai kesalahan sangat besar (diatas 250mV). Secara umum, perbedaan tegangan yang terjadi juga rata-rata lebih besar daripada ketika menggunakan rangkaian pengkondisi sinyal 1-5V, yaitu sebesar 74,15mV. Perbedaan tegangan tertinggi adalah 259mV dan terjadi pada saat *input* adalah sebesar 8500mV.

Pengujian analog *outputs* dilakukan dengan menggunakan dua program LabVIEW yaitu sebuah program yang menggunakan *slider* untuk mengatur *set point* tegangan dan sebuah program yang menggunakan input bilangan heksadesimal. Berikut ini adalah tabel serta grafik hasil pengujian tegangan *output* DAC yang telah dilakukan.

Tabel 2. Hasil pengujian tegangan *output*

Input slider			Input heksadesimal			
SP (V)	V _{OUT} (V)	ΔV (V)	hex	V _{OUT} calc. (V)	V _{OUT} meas. (V)	ΔV (V)
0.502	0.505	0.003	0D	0.507	0.505	0.002
1	1.01	0.01	1A	1.016	1.011	0.005
1.51	1.516	0.006	27	1.523	1.517	0.006
2.05	2.024	0.026	34	2.031	2.025	0.006
2.47	2.451	0.019	3F	2.461	2.452	0.009
3.2	3.196	0.004	52	3.203	3.198	0.005
3.47	3.469	0.001	58	3.438	3.433	0.005
4.06	4.055	0.005	68	4.063	4.057	0.005
4.57	4.56	0.01	75	4.570	4.56	0.010
5.07	5.07	0	81	5.039	5.03	0.009
5.43	5.42	0.01	8A	5.391	5.38	0.011
6.03	6	0.03	9A	6.016	6.01	0.006
6.44	6.43	0.01	A4	6.406	6.4	0.006
6.99	6.98	0.01	B2	6.953	6.94	0.013
7.63	7.6	0.03	C3	7.617	7.61	0.007
8.08	8.07	0.01	CE	8.047	8.04	0.007
8.49	8.46	0.03	D8	8.438	8.43	0.008
9.18	9.16	0.02	EA	9.141	9.13	0.011
9.54	9.51	0.03	F3	9.492	9.48	0.012
10	9.94	0.06	FF	9.961	9.94	0.021

Gambar 18. Grafik tegangan *output* menggunakan *input slider*Gambar 19. Grafik *perbedaan* tegangan ketika menggunakan *input slider*Gambar 20. Grafik tegangan *output* menggunakan *input heksadesimal*Gambar 21. Grafik perbedaan tegangan ketika menggunakan *input heksadesimal*

Dari dua hasil percobaan di atas menunjukkan bahwa kesalahan ketika menggunakan *input* berupa heksadesimal lebih kecil daripada *input* yang berupa *slider*. Hal ini disebabkan karena nilai *analog* yang berasal dari *slider* belum tentu dapat diakomodasi oleh DAC dengan resolusi sebesar 8-bits. Dengan menggunakan *input* berupa nilai heksadesimal, berarti *input* DAC dikontrol secara pasti, sesuai dengan nilai heksadesimal yang diinginkan. Saat menggunakan *slider* kesalahan maksimal sebesar 60mV terjadi pada saat *set point* diatur sebesar 10V. Hal ini disebabkan karena secara teori jika DAC diberi *input* maksimal (0xFF), tegangan *output* yang dihasilkan adalah sebesar 9,961V. Nilai tegangan maksimal tersebut dihitung dengan menggunakan perhitungan dibawah ini.

$$V_{OUT} = 10V \times \left(\frac{D7}{2} + \frac{D6}{4} + \frac{D5}{8} + \frac{D4}{16} + \frac{D3}{32} + \frac{D2}{64} + \frac{D1}{128} + \frac{D0}{256} \right) \quad (19)$$

Jika *input* adalah 0xFF (0b11111111) maka,

$$V_{OUT} = 10V \times \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} + \frac{1}{64} + \frac{1}{128} + \frac{1}{256} \right) \quad (20)$$

$$V_{OUT} = 10V \times 0,9961 = 9,961V \quad (21)$$

Sedangkan ketika menggunakan *input* heksadesimal, kesalahan maksimal hanya sebesar 21mV yang terjadi pada *input* 0xFF. Kesalahan ini karena

parameter seperti tegangan referensi atau nilai resistor yang tidak sesuai dengan perhitungan.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian seperti dijelaskan di atas, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

- Pembuatan sub-VI menggunakan LabVIEW membuat sistem akuisisi data yang telah dibuat dapat digunakan dengan mudah. Namun demikian, sistem akuisisi data ini tidak dirancang untuk aplikasi yang membutuhkan ketelitian waktu yang tinggi.
- Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa *digital input* yang dirancang menggunakan *photocoupler* tidak berhasil untuk merespon perubahan *input* diatas 1600Hz. Rangkaian *digital input* akan bernilai “*high*” untuk tegangan diatas 3,54V. Sedangkan untuk tegangan 0V hingga 3,54V, *digital input* akan bernilai “*low*”.
- Dengan menggunakan tegangan sumber (DVCC) sebesar 12V pada *digital output*, tegangan logika “*low*” yang dihasilkan sebesar 0,276V. Sedangkan pada saat *digital output* dikondisikan logika “*high*”, didapatkan tegangan sebesar 12V.

- Sistem akuisisi data yang dibuat dapat digunakan untuk mengukur tegangan dengan *range* 1-5V dan 0-10V dengan rata-rata perbedaan tegangan (ΔV) sebesar 14,47mV untuk *range* 1-5V dan 72,34mV untuk *range* 0-10V.
- Rata-rata perbedaan arus (ΔA) pada pengukuran arus 4-20mA adalah sebesar 0,037mA.
- Waktu konversi yang dibutuhkan oleh ADC adalah 2,33 μ S.
- Rata-rata perbedaan tegangan pada *analog output* adalah sebesar 16,2mV ketika menggunakan *set point* yang berupa *slider* dan sebesar 8,184mV ketika menggunakan *input* heksadesimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. K. Ghosh, Ning Xi, T. J. Tam, *Control in Robotics and Automation, Sensor-Based Integration*, Academic press, San Diego, 1999.
- [2] National Instruments, *Getting Started with LabVIEW*, National Instruments Corporation, August 2006.
- [3] ATMEL, *8-bit Microcontroller with 64K Bytes In-System Programmable Flash*, March 2004.
<http://www.datashetcatalog.org/datasheets2/34/3473458_1.pdf>