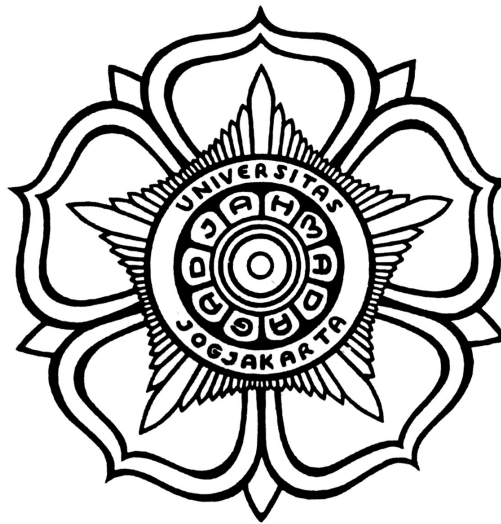


MODUL 08

PRAKTIKUM SISTEM DIGITAL

TNF 2178 - 1 SKS



Disusun oleh:

Prof. Ir. Sunarno, M.Eng., Ph.D.

dan

Tim Asisten Praktikum Sistem Digital

**LABORATORIUM SENSOR DAN SISTEM TELEKONTROL
DEPARTEMEN TEKNIK NUKLIR DAN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA
2018**

Daftar Isi

1	ADC & DAC	5
1.1	Tujuan	5
1.2	Materi	5
1.3	Teori	5
1.3.1	Jenis-jenis IC ADC dan DAC	6
1.3.2	Karakteristik ADC maupun DAC	6
1.4	Alat dan Bahan	10
1.5	Langkah-langkah Percobaan	10
1.5.1	ADC	10
1.5.2	DAC	14
1.5.3	Penjelasan Source-Code	15

Chapter 1

ADC & DAC

1.1 Tujuan

Mahasiswa memahami cara kerja ADC (*Analog to Digital Converter*) dan cara kerja DAC (*Digital to Analog Converter*)

1.2 Materi

- a. DAC (*Digital to Analog Converter*)
- b. ADC (*Analog to Digital Converter*)

1.3 Teori

Rangkaian yang pertama dikenal dengan ADC (*Analog to Digital Converter*). Rangkaian ini digunakan untuk mengubah suatu sinyal *input* yang analog menjadi *output* digital. *Output* ini biasanya berupa perintah yang akan digunakan untuk menjalankan aktuator. Rangkaian jenis kedua adalah DAC (*Digital to Analog Converter*). DAC digunakan untuk mengkonversi sinyal dari *input* yang berupa sinyal digital untuk diubah menjadi *output* berupa sinyal analog. *Output* dari DAC ini biasanya berupa sinyal analog yang dapat di plot dalam bentuk grafik atau gambar.

Penggunaan sinyal *output* baik berupa sinyal analog maupun digital mempunyai banyak kelemahan dan kerugian masing-masing. Dengan menggunakan sinyal analog data *output* akan dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama, akan tetapi membutuhkan waktu yang lama pula dalam proses pengolahan sinyalnya. Sedangkan sinyal digital mempunyai keuntungan data lebih cepat diproses, akan tetapi tidak dapat digunakan dalam jangka waktu lama.

ADC dan DAC mempunyai ketelitian yang sangat akurat, tapi hal ini juga bergantung pada jumlah dari bit-bit sinyal digital yang digunakan. Bit-bit sinyal yang dapat digunakan adalah 8 bit, 16 bit, atau 32 bit sinyal digital.

Akan tetapi yang paling sering digunakan adalah 8 bit sinyal-sinyal digital. Dengan menggunakan 8 bit sinyal digital ini akan dapat membangkitkan tegangan sebesar 28 atau mencapai ketelitian sebesar 256 tingkatan tegangan. Jika tegangan maksimum yang dibangkitkan sebesar 2,55 Volt, maka DAC ini dapat membangkitkan tegangan mulai dari 0 sampai 2,55 Volt dengan tingkatan 0,01 Volt. Artinya input biner bernilai 00000001 pada *input* DAC akan membangkitkan tegangan output 0,01 Volt, biner 00000010 membangkitkan 0,02 V dan seterusnya hingga mencapai biner 11111111 yang akan menghasilkan tegangan 2,55 V. Sebaliknya tegangan 0 sampai 2,55 Volt ini akan di rentang oleh ADC menjadi besaran digital dalam bentuk biner dari 00000000 sampai 11111111.

1.3.1 Jenis-jenis IC ADC dan DAC

Dewasa ini, pabrik-pabrik pembuat IC ADC dan DAC telah bersaing untuk memasarkan produk buatannya. Masing-masing perusahaan tentu melakukan segala cara agar produk IC yang dijual di pasaran dapat terjual laku. IC yang ada pun telah banyak yang menggunakan 16 bit, meskipun masih ada yang menjual IC 4 bit dan 8 bit.

IC ADC yang sering digunakan di Indonesia adalah ADC0804 atau ADC0808. Namun ada juga ADC lain yang sering digunakan seperti ADC0801 / ADC0802 / ADC0803 / ADC0805 8-Bit Microprocessor Compatible A/D converters. Disamping itu IC DAC yang sering banyak kita jumpai di pasaran adalah DAC0800 / DAC0801 / DAC0802 8-Bit Digital-to Analog Converters. Kedua IC, baik ADC maupun DAC yang telah disebut diatas merupakan buatan National Semiconductor.

Disamping itu, ada IC ADC yang lain seperti misalnya IC ADC yang dikenal dengan rancangan khusus dan sudah dilengkapi untuk keperluan membangun Digital Volt Meter, misalnya ICL7106 / ICL7107 3 1/2 -Digit A/D Converter produksi Maxim. IC ini mempunyai ketelitian yang lebih dibandingkan dengan ADC 8 bit, biasa digunakan untuk mengukur tegangan 0 sampai 1,999 atau hampir 11 bit. IC ADC ini juga dilengkapi dengan rangkaian yang dapat menampilkan tegangan yang diukur.

1.3.2 Karakteristik ADC maupun DAC

Operasi penting yang berhubungan dengan sinyal analog dan digital adalah konversi digital ke analog yang dilakukan oleh pengubah digital ke analog (DAC) dan konversi analog ke digital yang dilakukan oleh pengubah analog ke digital (ADC).

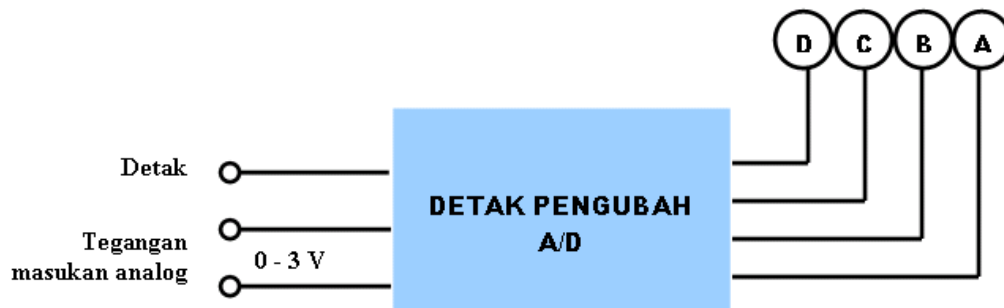
Apabila yang akan kita proses besaran analog baik sebagai masukan ataupun keluaran analog sedang unit pemroses yang kita pakai berbasis digital, maka harus dipakai konverter analog-ke-digital. Namun apabila masukan adalah analog dan jika keluaran yang dikehendaki adalah analog, maka dibutuhkan

konverter digital-ke-analog. Alat pengubah ini sangat banyak ditemukan antara lain :

1. pengubah analog ke digital penghitung,
2. pengubah (A/D) pendekatan berurutan,
3. pengubah (A/D) komparator-paralel,
4. pengubah (A/D) 2-kemiringan (*dual-slope*) atau *rationometric*.

Analog to Digital Converter (ADC)

Pengubah analog ke digital (pengubah A/D) membalik proses dari pengubah D/A. Tegangan analog yang tak diketahui dimasukkan ke dalam pengubah A/D dan akan muncul keluaran biner yang bersangkutan. Keluaran biner tersebut akan berbanding lurus dengan masukan analog. Diagram blok dari suatu pengubah A/D diperlihatkan pada Gambar 1.1. Pengubah A/D ini mempunyai tegangan masukan analog yang berkisar dari 0 sampai 3 V. Kemudian keluaran biner tersebut akan terbaca dalam bentuk biner dari 0000 sampai 1111. Perhatikan bahwa pengubah A/D tersebut juga mempunyai masukan detak. Ada 3 karakteristik yang perlu diperhatikan dalam pemilihan



Gambar 1.1: Diagram blok dari suatu pengubah A/D 4-bit

komponen ADC, antara lain :

1. Resolusi

Resolusi adalah perubahan masukan terkecil yang menyebabkan berubahnya *output*. Resolusi pada sebuah ADC ini dapat dianggap sebagai kesalahan kuantisasi. Semakin banyak jumlah bit yang mengkode sinyal, maka kesalahan kuantisasi ini dapat direduksi. Kesalahan kuantisasi secara umum adalah sebesar $\pm 1/2$ LSB. Perumusan resolusi secara umum adalah sebagai berikut

$$\%Resolusi = (1/jumlahsteptotal) \times 100\% = \frac{1}{2^n} \times 100\%$$

dimana n = jumlah bit

2. Akurasi

Akurasi adalah jumlah dari semua kesalahan, misalnya kesalahan non linieritas, skala penuh, skala nol, dll. Akurasi dapat juga menyatakan perbedaan antara tegangan *input* analog secara teoritis yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu kode biner tertentu terhadap tegangan *input* nyata yang menghasilkan tegangan kode biner tersebut. Keakuratan sebuah ADC sama sekali tidak bergantung pada resolusi, tetapi tergantung pada keakuratan komponen-komponen penyusunnya seperti: komparator, resistor, dan *level amplifier*-nya. Spesifikasi kesalahan 0,01% *F.S* mempunyai arti hasil konversi berbeda sebesar 0,01% dari *F.S* dari yang seharusnya.

3. Waktu Konversi Waktu konversi adalah waktu yang dibutuhkan untuk mendigitalkan setiap sampel atau data yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu konversi. Spesifikasi ini sangat penting jika *bandwidth* sinyal input merupakan hal yang sangat signifikan.

Digital to Analog Converter (DAC)

DAC adalah alat pengkonversi kebalikan dari ADC. Alat ini mampu mengkonversi sinyal/data dari besaran digital menjadi besaran analog. DAC biasanya berhubungan dengan aktuator. Keluaran dari DAC berupa besaran analog akan digunakan sebagai perintah yang akan dijalankan pada aktuator. Namun ada pula keluaran DAC yang hanya dituliskan ke dalam bentuk grafik saja. Hal ini tergantung dari pemakai akan digunakan dalam bentuk grafik atau dalam suatu sistem kontrol.

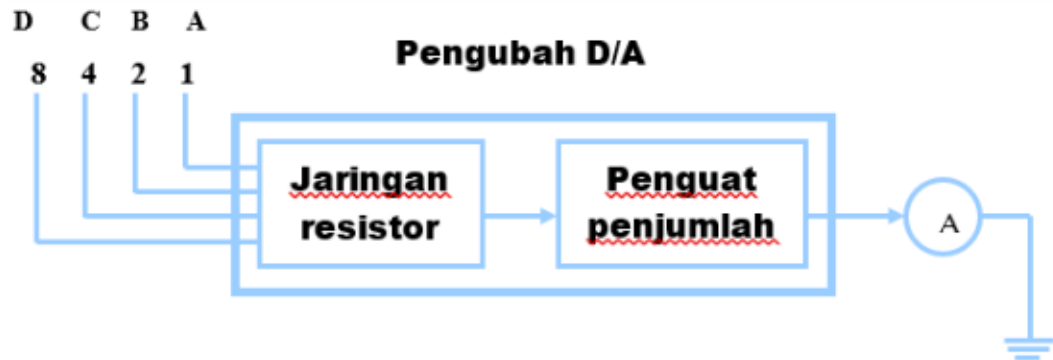
Secara umum, DAC terdiri dari dua bagian fungsional. Gambar 1.2 mengilustrasikan diagram blok dari sebuah DAC, yaitu terdiri dari jaringan resistor dan penguat penjumlahan. Jaringan resistor tersebut akan membebani maukan 1, 2, 3 dan 4 dengan tepat. Penguat penjumlahan akan memberikan skala tegangan keluaran yang sesuai dengan tabel kebenaran. IC penguat penjumlahan yang digunakan dalam DAC adalah jenis penguat operasional (*Op-Amp*). Ada tiga karakteristik yang penting dari DAC, yaitu:

- Resolusi

Resolusi adalah perubahan terkecil pada *output* analog. Resolusi selalu sama dengan bobot dari LSB yang disebut besar langkah (*step size*). Harganya akan lebih kecil bila digunakan jumlah bit yang lebih banyak. Dengan menambah jumlah bit maka akan menambah jumlah step untuk skala penuh, karena hanya jumlah bit yang menentukan persentasi resolusi.

- Kecermatan (akurasi)

Kecermatan menghubungkan keluaran analog yang diperoleh sebenarnya



Gambar 1.2: Bagian fungsional dari suatu pengubah D/A

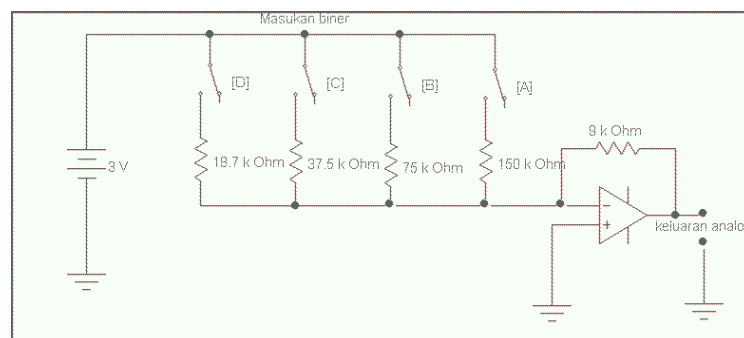
dengan keluaran yang diharapkan, biasanya dinyatakan dalam persentasi dari skala penuh keluaran. Makin kecil persentasi harga kecermatan, akan semakin akurat dan tentu saja semakin mahal harganya. Kadang-kadang kecermatan DAC dilihat dari linieritasnya. Kecermatan dan resolusi dari DAC haruslah sebanding.

- *Settling Time*

Apabila *input-input* digital suatu DAC berubah, bagi level amplifier dan rangkaian internal lainnya memerlukan waktu untuk memberikan respon menghasilkan suatu harga keluaran analog yang baru. Waktu yang diperlukan keluaran tersebut untuk menstabilkan sampai 99,95 % dari harga barunya disebut *settling time*.

Prinsip Kerja

Sebuah DAC secara umum dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 1.3. Seperti yang disebutkan sebelumnya, DAC terdiri dari rangkaian jaringan resistor dan penguat penjumlahan. Selain itu, juga terdapat *switch* (A, B, C, dan D) dimana kondisi *open* dan *close* tergantung pada data biner yang ada. Untuk data biner “1” maka *switch* akan dalam kondisi *close* (*on*), begitu sebaliknya jika data biner “0” maka kondisi *switch* akan *open* (*off*). *Switch-switch* tersebut dihubungkan dengan tegangan masukan (V_{in}).



Gambar 1.3: Rangkaian pengubah D/A

Dari Gambar 1.3 di atas, resistor R4 adalah resistor MSB (*Most Significant Bit*). Terlihat bahwa R3 nilainya dua kali dari R4, R2 nilainya empat kalinya dan seterusnya. DAC akan mengambil harga yang dinyatakan dalam kode digital dan mengubahnya menjadi arus atau tegangan yang sebanding dengan harga digitalnya. Tegangan atau arus ini merupakan besaran analog, dan pada setiap jangkauan tertentu mempunyai harga yang berbeda. DAC akan mengubah bilangan biner yang direpresentasikan oleh tingkat logika digital ke suatu tegangan *output* yang sebanding dengan bobot bilangan biner tersebut. Harga tegangan atau arus keluarannya tergantung dari harga referensi yang dipilih untuk skala penuhnya. Harga tegangan *output* (V_o) tersebut adalah hasil kali antara sinyal digital (D) dengan tegangan referensi analog (V_{ref}), dan dapat dirumuskan seperti yang ada di bawah ini:

$$V_o = V_{in} x \frac{R_f}{R_1} \left(\frac{D_0}{256} + \frac{D_1}{128} + \frac{D_2}{64} + \frac{D_3}{32} + \frac{D_4}{16} + \frac{D_5}{8} + \frac{D_6}{4} + \frac{D_7}{2} \right)$$

$$V_o = V_{in} x D x \frac{R_f}{R_1}$$

DAC Jenis Tangga

Pada DAC jenis tangga, resistor disusun seperti yang terlihat pada gambar. Fungsi dari jaringan ini adalah sama seperti jaringan resistor yang digunakan sebelumnya. Hanya saja, besar resistansinya terdiri dari dua nilai yaitu R dan 2R. Hal ini menyebabkan rangkaian ini lebih sederhana dan mudah dalam penentuan nilai dari resistor.

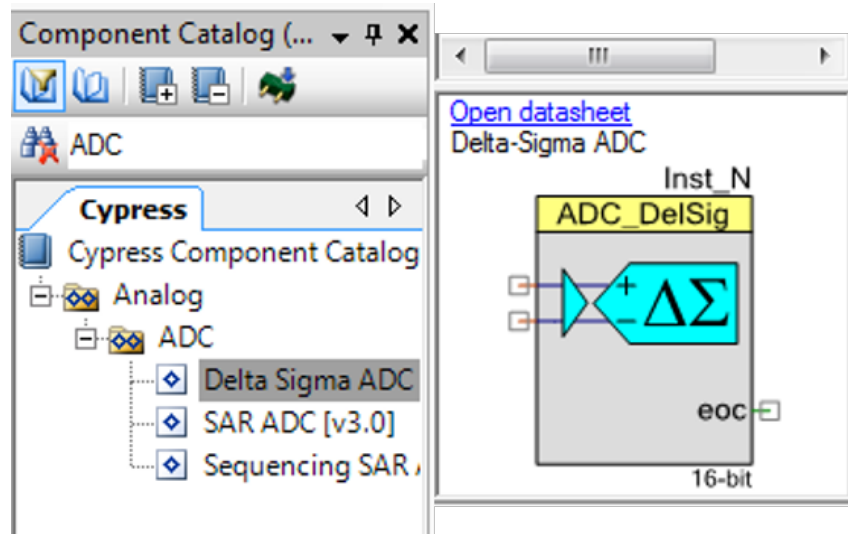
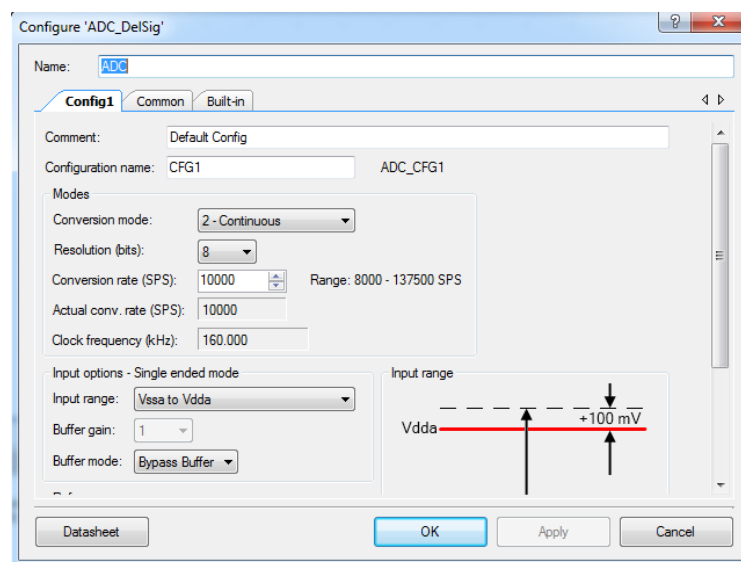
1.4 Alat dan Bahan

- a. Buku praktikum
- b. Modul PSoC
- c. Kabel *jumper*
- d. Laptop
- e. PSoC Creator

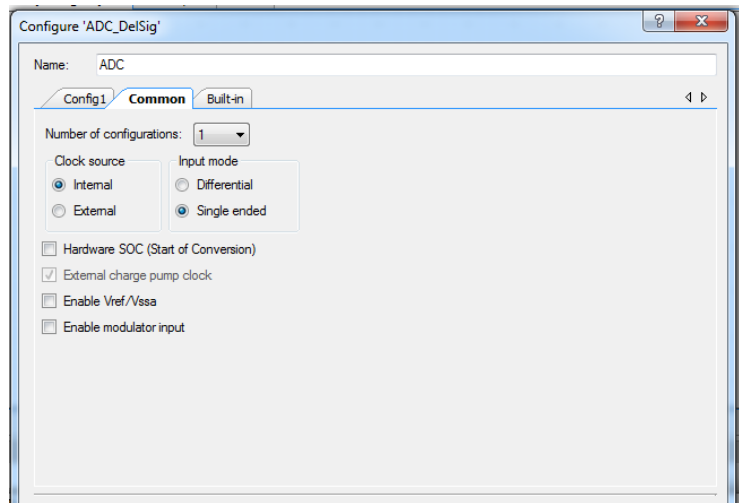
1.5 Langkah-langkah Percobaan

1.5.1 ADC

1. Buka PSoC Creator
2. Pada Workspace TopDesign.cysch masukkan komponen Delta-Sigma ADC yang didapat dari Component Catalog seperti Gambar 1.4.

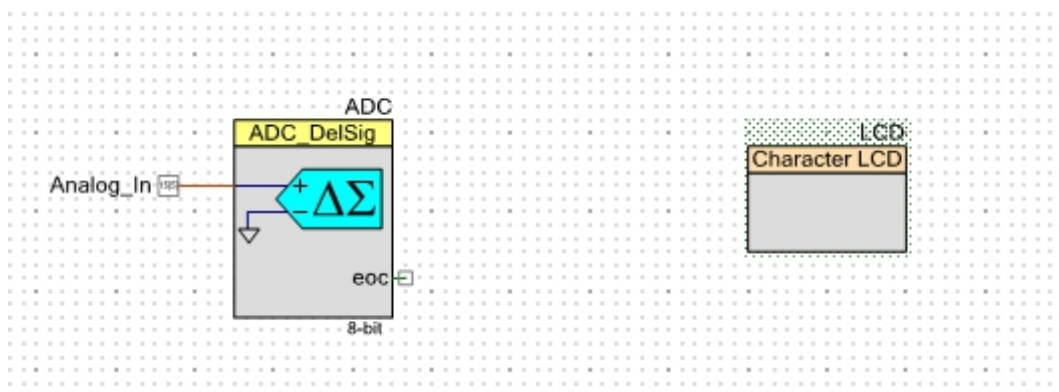
Gambar 1.4: *Component Catalog*Gambar 1.5: *ADC konfigurasi*

3. Atur ADC dengan klik 2 kali pada komponen, gunakan pengaturan seperti pada Gambar 1.5 Pemberian nama komponen akan mempengaruhi nama pada program. Pengaturan *conversion mode* dipilih *continuous* dimaksudkan agar ADC melakukan pembacaan data/*sampling* secara terus menerus. Resolusi diatur dalam 8 bit atau sesuai kegunaan. Semakin tinggi resolusi yang dipilih maka ketelitian dari hasil pembacaan makin besar, namun akan berdampak pada kecepatan Delta-Sigma ADC dalam melakukan *sampling* atau biasa disebut SPS (*Sampling per Second*).
4. Selanjutnya pilih sub menu *common* kemudian dilakukan pengaturan seperti Gambar 1.6 Jumlah konfigurasi yang digunakan menggunakan jumlah 1

Gambar 1.6: *Common konfigurasi*

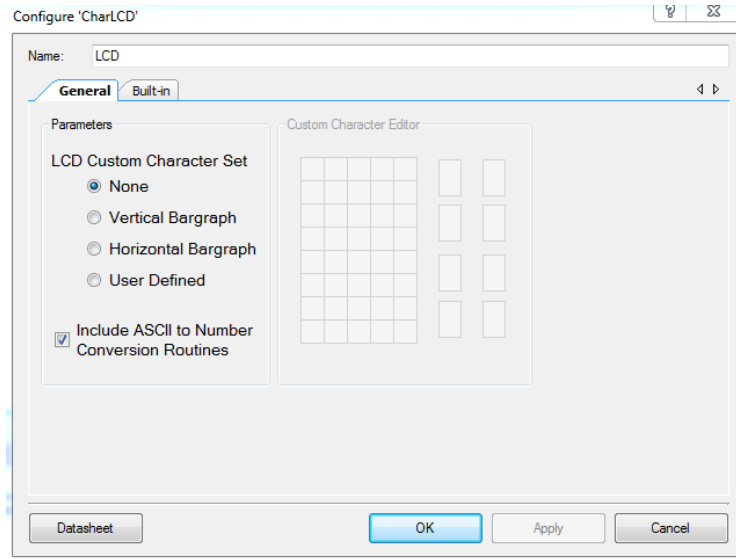
saja dan *Clock Source* dimaksudkan sumber waktu yang digunakan untuk mengetahui waktu dalam pengambilan data tersebut. *Input Mode* mengkonfigurasi ADC untuk input *Differential* atau *Single ended* pilihan default-nya adalah *Differential*. Dalam mode ini, input negatif dan positif ditunjukkan pada simbol. bila mode *Single ended* dipilih, input negatif ke ADC terhubung ke Vssa. Jumlah konfigurasi diatur menjadi 1 apabila hanya menggunakan 1 ADC dalam penggunaannya.

5. Selanjutnya kembali ke sub menu *Config1* dan ubah *Input range* menjadi Vssa to Vdda. Nilai absolut maksimum dari ADC input range selalu didikte oleh nilai absolut maksimum dan minimum Buffer mode.
6. Tambahkan pin Analog Input dan LCD, hingga sesuai dengan Gambar 1.7.



Gambar 1.7: Skema rangkaian

7. Atur konfigurasi pada LCD sesuai dengan Gambar 1.8



Gambar 1.8: LCD konfigurasi

8. Klik menu Pins pada Workspace Explorer, kemudian lakukan konfigurasi seperti Gambar 1.9

	Name	Port	Pin	L
	\LCD:LCDPort[6:0]\	P2[6:0]	1, 68, 66...62	
	Analog	P3[1]	30	

Gambar 1.9: Konfigurasi semua pin yang digunakan

9. Konfigurasi pin PSoC ke LCD seperti Gambar 1.10.

PSoC Pin	LCD Module Pin	Keterangan
2.0	DB4	Data Bit 0
2.1	DB5	Data Bit 1
2.2	DB6	Data Bit 2
2.3	DB7	Data Bit 3
2.4	E	LCD Enable
2.5	RS	Register Select
2.6	R/W	Read/Not

Gambar 1.10: Tabel hubungan port LCD

10. Masukkan program *code* pada main.c Seperti pada Gambar 1.11
11. Lakukan *build* dan unduh program ke modul PSoC

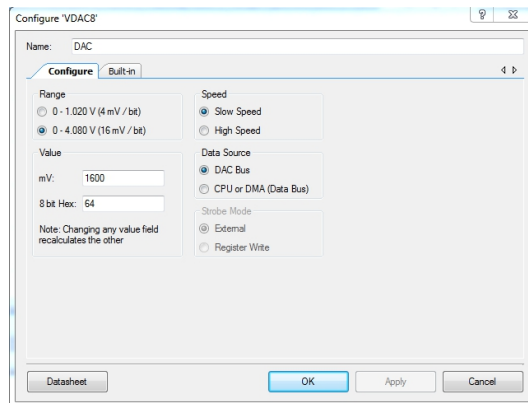
```
#include "project.h"
uint16 data;
uint16 v;
int main(void)
{
    CyGlobalIntEnable; /* Enable global interrupts. */
    LCD_Start();
    ADC_Start();
    ADC_StartConvert();
    for(;;)
    {
        if(ADC_IsEndConversion(ADC_RETURN_STATUS)) {
            data = ADC_GetResult16();
            v = ADC_CountsTo_mVolts(data);
        }

        LCD_ClearDisplay();
        LCD_Position(0,0);
        LCD_PrintString("tegangan:");
        LCD_Position(0,10);
        LCD_PrintNumber(v);
        LCD_Position(1,0);
        LCD_PrintString("desimal:");
        LCD_Position(1,9);
        LCD_PrintNumber(data);
        CyDelay(50);
    }
}
```

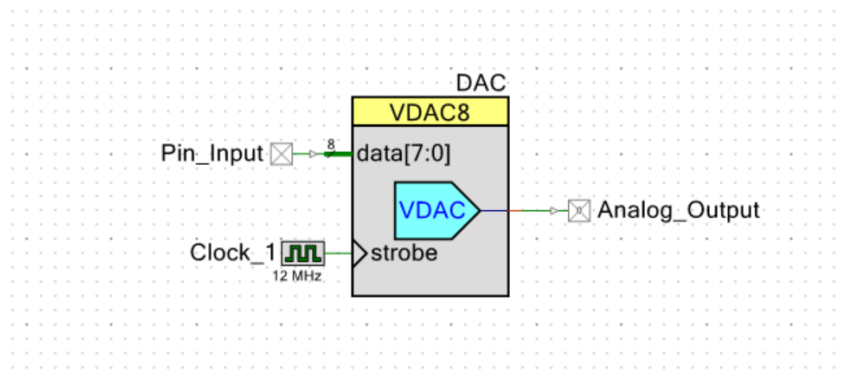
Gambar 1.11: Code di *main.c*

1.5.2 DAC

1. Lakukan prosedur yang telah disebutkan pada percobaan ADC untuk melakukan percobaan DAC. Gunakan blok VDAC. Lakukan konfigurasi seperti Gambar 1.12.
2. Tambahkan komponen-komponen lain hingga membentuk rangkaian seperti Gambar 1.13
3. Konfigurasi Pin seperti Gambar 1.14
4. Masukkan program sesuai kebutuhan seperti Gambar 1.15
5. Unduh program ke dalam modul PSoC dan catat hasil percobaan. Ulangi percobaan dengan memvariasikan nilai resolusi seperti pada Tabel Hasil Pengamatan.



Gambar 1.12: Konfigurasi VDACS



Gambar 1.13: Skema Rangkaian

	Name	Port	Pin	Lock
<input checked="" type="checkbox"/>	\Pin_Input[7:0]\	P0[7:0]	56_53, 51_48	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Analog_Output	P15[5]	61	<input checked="" type="checkbox"/>

Gambar 1.14: Konfigurasi pin yang digunakan

1.5.3 Penjelasan Source-Code

Arduino	PSoC	Keterangan
Digital_Write (High/Low)	Name_Write(1/0)	Untuk menulis nilai ke pin digital, nilai yang ditulis dapat berupa 1 atau 0. Nama disesuaikan dengan nama komponen
Digital_Read()	Name_Read()	Untuk membaca nilai dari pin digital, nilai yang didapat dapat berupa 1 atau 0

Control Statement pada bahasa C	
If Statement	if (<i>condition</i>) { statement }
If-Else Statement	if (<i>condition</i>) { statement } else { statement }
Do-While Statement	do{ statement } while (<i>condition</i>)
For Statement	for(initial ; condition ; loop/increment) { statement }


```

#include "project.h"

int main(void)
{
    CyGlobalIntEnable; /* Enable global interrupts. */
    DAC_Start();
    uint8 output_analog;
    for(;;)
    {
        output_analog = DAC_Data;
        CyDelay(100);
    }
}

```

Gambar 1.15: Code di *main.c*

Operator dalam bahasa C	
Assignment Operator	+-, -=, *=, /= dan %= Contoh penggunaan x = x - a menjadi x -= a x = x + a menjadi x += a x = x * a menjadi x *= a x = x / a menjadi x /= a x = x % a menjadi x %= a
Decrement dan Increment Operator	Bertugas untuk mengulangi suatu perintah dan biasanya kita akan temukan pada pengulangan for. Simbol operator ini adalah++ dan --
Operator Pembandingan	<(lebih kecil dari) >(lebih besar dari) <= (lebih kecil atau sama dengan) >= (lebih besar atau sama dengan) == (sama dengan) != (tidak sama dengan)
Operator Logika	(OR Operator) && (AND Operator)

TABEL HASIL PENGAMATAN

DAC

INPUT								OUTPUT
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Tegangan pada display multimeter (Vdc)
0	0	0	0	0	0	0	1	
0	0	0	0	0	0	1	0	
0	0	0	0	0	1	0	0	
0	0	0	0	1	0	0	0	
0	0	0	1	0	0	0	0	
0	0	1	0	0	0	0	0	
0	1	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	
								1
								2
								3
								4

Variasikan hasil dengan menggunakan semua nilai input range yang tersedia pada sub menu config1, apa yang dapat Anda simpulkan?

ADC

NO	INPUT	OUTPUT (Dec)		
	Vin (volt)	Resolusi 8bit	Resolusi 12bit	Resolusi 16bit
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				

DAFTAR PUSTAKA

David Bucchlah, Wayne McLahan, “Applied Electronic Instrumentation And Measurement”, MacMilian Publishing Company, 1992.

Eggebrecht, Lewis C., Interfacing to The IBM PC, Howard W. Sams & Co., Indianapolis, 1987.

Hall, Douglas V., Microprocessor and Interfacing : Programming and Hardware, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1987.

Hodges D. , Jacson, Nasution S. “Analisa dan Desain Rangkaian Terpadu Digital”, Erlangga, Jakarta, 1987.

Ian Robertson Sinclair, Suryawan, “Panduan Belajar Elektronik Digital”, ElexMedia Komputindo, Jakarta, 1993.

K.F. Ibrahim, “Teknik Digital”, Andi Offset , Jakarta, 1996.

Sendra, Smith, Keneth C., “ Rangkaian Mikroelektronika”, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1989.

Singh, Avtar & Walter A. Triebel, The 8088 Microprocessor : Programming, Interfacing, Software, Hardware and Applications, Prentice-Hall International Inc., New Jersey, 1987.

Sofyan H. Nasution, “Analisa dan Desain Rangkaian Terpadu Digital”, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1987.

Sutrisno, “Rangkaian Digital dan Rancangan Logika”, Erlangga, Jakarta, 1990.

Tokheim. R., “Elektronika Digital”, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta, 1995.

Wijaya Widjanarka N., “Teknik Digital”, Erlangga, Jakarta, 2006.