

**ANTAR MUKA QUADRATURE ROTARY ENCODER PADA STM32F407VGT6
BRAKITERAPI HDR IR-192 MENGGUNAKAN MODUL LS7184N**

Mohamad Amin, Joko Triyanto, Sukandar
Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir – BATAN
Gedung 71, Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15314
amin123@batan.go.id; triyanto123@gmail.com

ABSTRAK

ANTARMUKA QUADRATURE ROTARY ENCODER PADA STM32F407VGT6 BRAKITERAPI HDR IR-192 MENGGUNAKAN MODUL LS7184N. Makalah ini berhubungan dengan penggunaan modul antarmuka dengan komponen utama IC LS7184N untuk menghubungkan quadrature incremental rotary encoder dan mikrokontroler STM32F407VGT6 yang terletak di dalam Treatment Control Unit Brakiterapi HDR-IR192 yang sedang dikembangkan di bidang Instrumentasi Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir BATAN. Penggunaan antarmuka tersebut merupakan cara untuk mempermudah pengkodean dalam membaca nilai dan arah gerakan encoder. Untuk membaca nilai dan arah putaran encoder pada kaki GPIO STM32F407VGT6, kami menggabungkan mode interupsi dan polling. Mode interupsi untuk membaca nilai posisi putaran encoder, sementara mode polling untuk membaca arah putaran encoder. Ketika encoder berputar selangkah searah jarum jam, maka nilai putaran bertambah satu. Sebaliknya jika encoder berputar selangkah berlawanan arah jarum jam, maka nilai encoder berkurang satu. Hasil pengujian menunjukkan antarmuka berjalan dengan benar.

Kata kunci : antarmuka, encoder, LS7184N, brakiterapi, STM32f407VGT6.

ABSTRACT

INTERFACING THE QUADRATURE ROTARY ENCODER TO STM32F407VGT6 OF BRACHYTHERAPY HDR IR-192 USING LS7184N MODULE. This paper deals with the use of interfacing module. The main component in the interface is LS7184 IC. The module is used to interface between the quadrature incremental rotary encoder and STM32F407VGT6 that is installed in the treatment control unit of brachytherapy HDR-IR192. The brachytherapy is being developed at the Nuclear Instrumentation Division in Nuclear Facilities Engineering Center in National Nuclear Energy Agency of Indonesia. The purpose of using the interface is to simplify program coding in reading the value and direction of the encoder movement. To read the value and direction of the encoder rotation on the STM32F407VGT6 GPIO pins, we combine the interrupt and polling modes. Interrupt mode is used to read the position value of encoder rotation, while polling mode is used to read the encoder rotation direction. When the encoder rotates a step clockwise, the position value increases by one. Conversely, if the encoder rotates a step counter clockwise, then the position value of the encoder decreases by one. Test results show the interface is running correctly.

Keywords: interfacing, encoder, LS7184N, brachytherapy, STM32f407VGT6.

1. PENDAHULUAN

Brakiterapi (*Brachytherapy*) merupakan suatu bentuk radioterapi yang digunakan untuk mengobati kanker dengan cara menaruh sumber radiasi secara langsung di dalam atau di dekat tumor ganas [1, 2]. Berdasarkan laju dosis sumber radiasi yang digunakan untuk terapi, Brakiterapi dibagi ke dalam tiga jenis. Pertama adalah brakiterapi tipe LDR (*low dose rate*), yaitu suatu jenis brakiterapi yang menggunakan sumber radiasi dengan kategori laju dosis rendah (antara 0.4 dan 2 Gy/jam), Kedua adalah brakiterapitipe MDR (*medium dose rate*), yaitu brakiterapi yang

menggunakan sumber radiasi kategori laju dosis sedang (dari 2 hingga 12 Gy/jam). Ketiga adalah brakiterapitipe HDR (*high dose rate*), yaitu brakiterapi yang menggunakan sumber radiasi dengan kategori laju dosis tinggi (lebih dari 12 Gy/jam) [3].

Hingga saat ini, PRFN BATAN masih melakukan pengembangan sebuah prototip mesin brakiterapi tipe HDR dengan judul perancangan yaitu Prototip Brachytherapy HDR IR-192. Fokus utama perancangan dibagi dalam tiga bagian utama. Bagian utama yang pertama adalah perancangan pada bagian pengendali pengobatan (*treatment control unit* (TCU)). Bagian utama yang kedua adalah perancangan pada bagian panel kendali pengobatan yang disebut *treatment control panel* (TCP). Bagian utama yang ketiga adalah perancangan pada bagian stasiun kendali pengobatan yang dikenal dengan sebutan *treatment control station* (TCS).

Perancangan pada bagian TCU diantaranya terdiri dari pembuatan program pengaktuan motor stepper dan pengindera nilai encoder. Program pengaktuan digunakan untuk mengendalikan perputaran motor indeks dalam memilih kanal pada tabung transfer, mengendalikan pergerakan motor stepper dummy dalam mendorong atau menarik sling dummy ke posisi yang diinginkan, dan mengendalikan pergerakan motor stepper sumber untuk mendorong atau menarik sling sumber ke posisi yang ditentukan. Untuk mengetahui posisi kanal dari hasil perintah aktuan terhadap motor indeks, TCU dilengkapi dengan sensor posisi. Nilai dari sensor posisi tersebut merepresentasikan nilai kanal pada saat itu. Pergerakan maju dan mundur dari sling sumber maupun sling dummy yang dikendalikan oleh motor stepper juga perlu diindera untuk memperkirakan atau memastikan posisi ujung sling sumber atau dummy. Alat yang digunakan untuk memberikan informasi tentang posisi ujung sling dummy atau sumber adalah rotary encoder.

Quadrature rotary encoder [4] adalah encoder yang memiliki sepasang keluaran pulsa dengan lebar periode pulsa sama. Semua literatur bersepakat menggunakan huruf A untuk merepresentasikan kaki keluaran pulsa pertama dan huruf B untuk merepresentasikan kaki keluaran pulsa kedua. Ketika rotary encoder tersebut berputar ke kanan, maka nilai pulsa pada kaki keluaran A bernilai tinggi sementara nilai pulsa pada kaki keluaran B bernilai rendah. Sebaliknya, ketika rotary encoder tersebut berputar ke kiri, maka nilai pulsa pada kaki A bernilai rendah sementara nilai pulsa pada kaki keluaran B bernilai tinggi.

STM32F407VGT6 Discovery [5, 6] adalah sebuah sistem mikrokontroler 32bit yang dilengkapi dengan dua buah kaki untuk membaca status nilai pulsa dari kedua keluaran rotary encoder. Hasil pembacaan tersebut dikonversi ke dalam bentuk nilai cacah yang bertambah satu demi satu atau berkurang satu demi satu. Pertambahan nilai cacah tersebut mencerminkan bahwa encoder tersebut sedang berputar searah putaran jarum jam. Sebaliknya, pengurangan nilai cacah menunjukkan bahwa encoder berputar ke arah yang berlawanan dengan arah perputaran jarum jam. Meskipun STM32F407VGT6 Discovery telah menyediakan fasilitas pengindera nilai encoder, fasilitas tersebut memerlukan pengesetan dan inisialisasi sejumlah register. Permasalahan ini tentunya memerlukan tingkat kemahiran lanjut. Di samping itu, pengembalian nilai awal pencacah ke 0 ketika diperlukan juga membutuhkan pengembalian nilai register-register yang berhubungan ke posisi awal. Oleh sebab itu, sebagai alternatif digunakan antar muka menggunakan IC LS7184 [7]. Dengan cara ini, pembacaan nilai pulsa dari kedua kaki keluaran rotary encoder tersebut terlebih dahulu dilewatkan ke LS7184 yang berfungsi mengkonversi kedua pulsa keluaran dari rotary encoder menjadi nilai cacahan dan arah putaran. Kedua kaki keluaran dari IC LS7184N tersebut kemudian dikoneksikan dengan kaki-kaki masukan yang bersesuaian dari STM32F407 Discovery.

Paper ini membahas tentang bagaimana menghubungkan rotary encoder ke mikrokontroler STM32F407 Discovery yang terletak di TCU Brakiterapi HDR IR-192 menggunakan antarmuka IC LS7184 dan bagaimana membaca data posisi dan arah putaran rotary encoder tersebut.

2. DASAR TEORI

a. Rotary Encoder

Rotary Encoder adalah suatu piranti yang tersusun dari elektromekanika dan berfungsi sebagai pengindera posisi sudut dan arah gerakan dari suatu poros batang yang berputar [Gambar 1a].



a. Contoh *rotary encoder*

b. Susunan warna kabel dan fungsinya

c. Pulsa keluaran pada kaki A,B, dan Z

Gambar 1. Contoh *rotary encoder* yang tersedia di pasaran.

Rotary encoder umumnya memiliki minimal 2 pasang kabel. Sepasang kabel berfungsi untuk memberikan daya ke *encoder*, sepasang lainnya berfungsi sebagai tempat untuk mengalirkan pulsa dari *encoder* (Gambar 1.b).

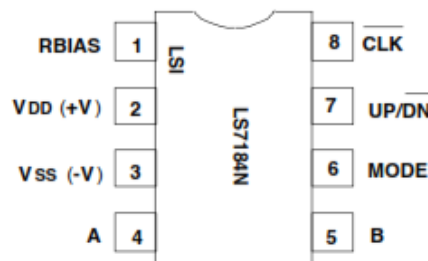
Cara kerja *rotary encoder* dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Ketika *rotary encoder*, yang telah diberi daya; diputar searah jarum jam, maka tampilan keluaran pulsa pada kabel A *encoder* terlebih dahulu bergerak dari keadaan nilai rendah (0 Volt dc) ke keadaan nilai tinggi (+5 Volt dc).
- Selang beberapa saat, pulsa pada kabel B *encoder* juga bergerak dari keadaan nilai rendah (0 Volt dc) ke keadaan nilai tinggi (+ Volt dc).
- Jika dimisalkan periode pulsa pada kabel A dan B *encoder* adalah 4 satuan waktu; dengan menggunakan formula dalam Gambar 1.c; maka selang waktu pulsa A berada pada keadaan nilai tinggi adalah 3 satuan waktu, sementara selang waktu pulsa A berada pada keadaan nilai rendah adalah 1 satuan waktu.
- Selanjutnya, pulsa pada kabel B *encoder* akan bergerak dari keadaan nilai rendah ke keadaan nilai tinggi setelah pulsa pada kabel A *encoder* berada pada nilai tinggi selama 1,5 satuan waktu. Pulsa pada kabel B *encoder* akan berada pada keadaan nilai tinggi selama 2 satuan waktu, kemudian kembali lagi ke keadaan nilai rendah selama 2 satuan waktu.
- Perbedaan fasa antara pulsa pada kabel A *encoder* dan pulsa pada kabel B *encoder* adalah sebesar 1.5 satuan, baik ketika *encoder* berputar ke arah yang searah putaran jarum jam ataupun ketika *encoder* berputar ke arah yang berlawanan dengan arah putaran jarum jam.

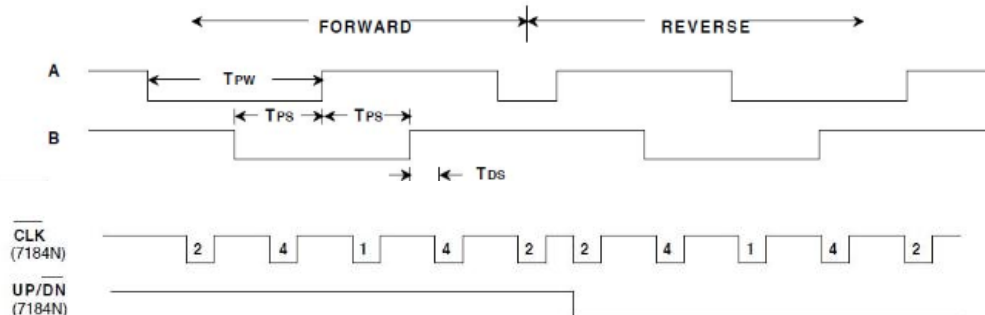
b. LS7184N

LS7184N (Gambar 2) adalah sebuah lempengan rangkaian terintegrasi (IC) yang berfungsi untuk mengkonversi pasangan pulsa keluaran A dan B yang berasal dari *rotary encoder* ke dalam bentuk pulsa *clock* dan sinyal status yang merepresentasikan arah putaran. LS7184N memiliki delapan (8) buah kaki. Enam (6) kaki berfungsi sebagai kaki untuk masukan, sisanya dua (2) kaki berfungsi sebagai kaki keluaran. Kaki 4 dan 5 dari LS7184N merupakan pasangan kaki masukan dari pulsa A dan B *encoder*, sementara kaki 7 dan 8 merupakan

pasangan kaki keluaran masing-masing untuk sinyal status arah putaran dan pulsa jam. LS7184N juga dilengkapi sebuah Mode (kaki no.6) untuk memilih resolusi dari pulsa status arah putaran. Mode tersebut merupakan masukan 3-keadaan (*tri-state*) dan digunakan untuk memilih resolusi x1, x2 atau x4. Laju pulsa masukan dari *encoder* dikalikan pengali 1 untuk mode resolusi x1, pengali 2 untuk mode resolusi x2 dan pengali 4 untuk mode resolusi x4 dalam rangka menghasilkan periode pulsa dari status arah putaran (kaki keluaran UP/DN, no 7) (Gambar 3). Mode x1, x2 dan x4 yang dipilih berdasarkan level logika yang diberikan pada kaki Mode (kaki no 6). Jika level logika yang diberikan ke Mode tersebut bernilai rendah, maka resolusi yang dipilih adalah x1. Selanjutnya, Jika level logika yang diberikan ke Mode tersebut bernilai tinggi, maka resolusi yang dipilih adalah x2. Tetapi, jika kaki Mode tersebut dibiarkan tak terhubung ke logika tinggi atau logika rendah, maka resolusi yang dipilih adalah x4.



Gambar 2. Lempengan rangkaian terintegrasi LS7184N



NOTE: Output clocks labeled 1, 2 and 4 have the following Interpretations:
 1: Generated in x1, x2 and x4 modes
 2: Generated in x2 and x4 modes only
 4: Generated in x4 mode only

Gambar 3. *Timing* Masukan dan Keluaran dari LS7184N

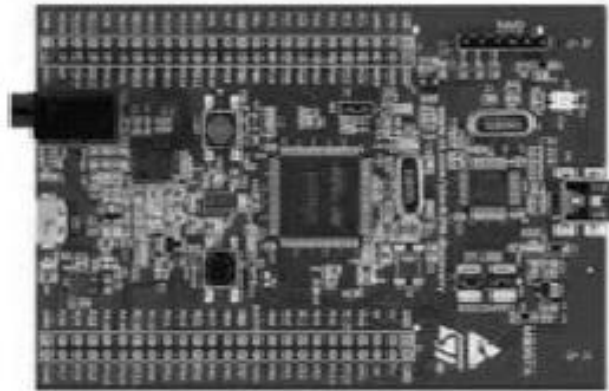
Cara kerja dari LS7184N secara singkat dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Ketika *encoder*; dengan keluaran pulsa A dan B yang terhubung ke masukan A dan B dari LS7184; diputar searah jarum jam, maka LS7184N mengkonversi jumlah putaran *encoder* tersebut menjadi jumlah pulsa *clock* yang bersesuaian pada kaki no. 8.
- Karena putaran *encoder* searah dengan jarum jam, maka pulsa A mendahului pulsa B sehingga perbedaan fase bernilai positif. Akibatnya, status sinyal yang muncul pada kaki no. 7 adalah tinggi.
- Sebaliknya, ketika *encoder* diputar berlawanan dengan arah putaran jarum jam, maka jumlah putaran *encoder* tersebut dikonversioleh LS7184 sebagai jumlah denyut jam yang bersesuaian dengan jumlah putaran *encoder*.

- Karena arah putaran *encoder* berlawanan dengan arah putaran jarum jam, maka perbedaan fase antara pulsa A dan pulsa B bernilai negatif. Perbedaan fase negative tersebut dikonversi oleh LS7184N ke dalam bentuk status sinyal bernilai rendah pada kaki no. 7.

c. STM32F407VGT Discovery

STM32F407VGT Discovery (Gambar 4) adalah salah satu jenis mikrokontroler jenis ARM (*Advance RISC Machine*) yang dilengkapi banyak fitur. Selain jumlah pin GPIO (*General Purpose Input Output*) yang berjumlah banyak, salah satu fitur yang menarik dari mikrokontroler tersebut adalah ketersediaan 16 pin GPIO untuk fasilitas interupsi. Fitur interupsi ini memberikan kebebasan kepada *developer* untuk mengatur pin-pin GPIO yang ingin digunakan sebagai pin interupsi sinyal masukan.



Gambar 4. STM32F407VGT *Discovery*

Seperti halnya semua mikrokontroler, STM32F407VGT *Discovery* harus diprogram agar dapat bekerja seperti yang diharapkan oleh pengembangnya. Secara ringkas cara menggunakan STM32F407VGT yaitu sebagai berikut:

- Pertama-tama mikrokontroler diinisialisasi. Inisialisasi dengan menentukan nilai frekuensi mikrokontroler yang akan digunakan, menentukan nilai frekuensi port-port masukan dan keluaran, menentukan nomor-nomor port yang akan digunakan sebagai masukan interupsi, masukan sinyal digital, masukan sinyal analog, masukan komunikasi serial, masukan komunikasi I2C, menentukan nomor-nomor port yang akan digunakan sebagai port keluaran digital biasa, nomor-nomor port yang akan digunakan sebagai keluaran analog, nomor-nomor port untuk keluaran pada komunikasi serial, nomor *port* keluaran untuk komunikasi I2C, mengatur nilai kecepatan pengiriman dan penerimaan data serial, dan masih banyak lagi lainnya.
- Berikutnya adalah membuat program utama yang akan digunakan untuk mengatur proses yang akan dijalankan.
- Terakhir adalah melakukan kompilasi program untuk memeriksa apakah program sudah berjalan seperti yang diinginkan atau belum.

3. TATA KERJA

3.1. Alat dan Bahan

a. Alat

- Sebuah *Laptop* yang telah terinstal STMQube32 dan *Attolic*

b. Bahan

1. *Rotary Encoder*

2. Antarmuka untuk IC LS7184N
3. Mikrokontroler STM32F407VGT6
4. LCD 20x4

3.2. Metode

- Kabel-kabel keluaran *Quadrature rotary encoder* dihubungkan ke kaki masukan yang bersesuaian pada modul antarmuka LS7184N.
- Kaki keluaran pulsa jam dan arah gerakan dari modul antarmuka LS7184N dihubungkan kaki-kaki masukan yang telah ditentukan di mikrokontroler STM32F407VGT6.
- STM32F407VGT6 dihubungkan ke *Laptop* untuk diprogram.
- Program diunggah ke STM32F407VGT6.
- Pengujian dilakukan dengan memutar *rotary encoder* searah jarum jam. Jika hasil pemutaran tersebut menampilkan nilai cacah bertambah, maka modul antarmuka bekerja dengan benar. Jika menampilkan nilai cacah yang semakin berkurang, maka perlu dilakukan perbaikan program.

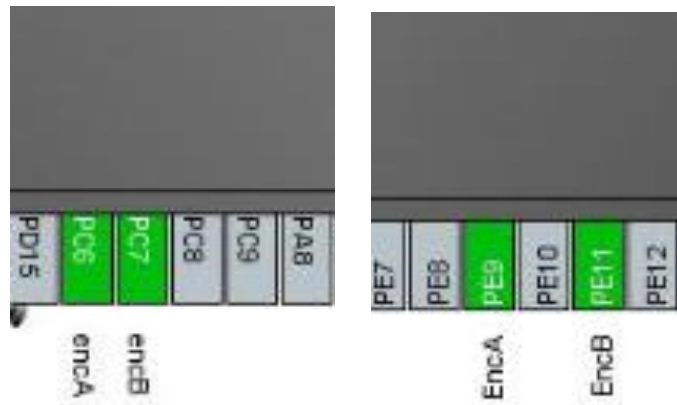
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Antarmuka LS7184N antara *rotary encoder* dan mikrokontroler STM32F407VGT6 *Discovery* dalam sistem TCU brachytherapy HDR-IR192 dibuat dalam bentuk papan rangkaian tercetak (Gambar 5).



Gambar 5. Papan rangkaian tercetak antarmuka LS7184N.

Pada papan rangkaian tercetak tersebut, konektor J1 dan J3 dihubungkan ke kabel yang bersesuaian dengan keluaran pulsa A dan B serta catu daya dari *encoder*. Selanjutnya, konektor J2 dan J4 dihubungkan ke kaki masukan GPIO, masing-masing pada pasangan kaki PC6 dan PC7, serta PE9 dan PE11 dari mikrokontroler STM32F407N (Gambar 6). Setelah koneksi antarmuka antara rotary encoder dan mikrokontroler STM32F407VGT6 telah dilakukan, langkah berikutnya adalah dengan melakukan konfigurasi perangkat keras mikrokontroler.



Gambar 6. Koneksi antar muka LS7184N ke kaki GPIO PE9 dan PE11 STM32F407VGT6.

Tabel 1. Contoh konfigurasi perangkat keras STM32F407VGT6

IP	Pin	Signal	GPIO mode	GPIO pull/up pull down	Max Speed	User Label
I2C1	PB6	I2C1_SCL	Alternate Function Open Drain	Pull-up	High *	
	PB7	I2C1_SDA	Alternate Function Open Drain	Pull-up	High *	
GPIO	PD13	GPIO_Output	Output Push Pull	Pull-down *	Low	
	PD14	GPIO_Output	Output Push Pull	Pull-down *	Low	
	PC6	GPIO_EXTI6	External Interrupt Mode with Rising edge trigger detection	Pull-down *	n/a	encA
	PC7	GPIO_Input	Input mode	No pull-up and no pull-down	n/a	encB

Tabel 1 menampilkan contoh dalam melakukan konfigurasi terhadap kaki GPIO dari STM32F407VGT6. Contoh tersebut menggunakan kaki PC6 dan PC7. Kaki PC6 diatur dalam mode interupsi-luar yang akan memberikan sinyal interupsi ketika kaki tersebut mendeteksi munculnya ujung pulsa jam; dari antarmuka LS7184N; bergerak naik. Untuk memastikan bahwa pulsa yang menyebabkan interupsi berasal dari kaki keluaran jam LS7184N, kaki PC6 dihubungkan dengan resistor *pull-down*. Dengan demikian, kaki PC6 akan selalu kembali ke kondisi nilai 0 ketika tidak ada denyut pulsa. Selanjutnya, kaki PC7 digunakan untuk menerima sinyal arah putaran. Oleh karena itu kaki ini diatur dalam mode masukan yang dibiarkan mengambang atau tidak terhubung baik dengan resistor *pull-up* maupun *pull-down*. Ketika kaki PC7 menerima sinyal bernilai rendah, maka sinyal tinggi tersebut diasosiasikan sama dengan putaran *encoder* yang searah jarum jam. Sebaliknya, ketika kaki PC7 menerima sinyal bernilai tinggi, maka putaran *encoder* diasumsikan berlawanan arah jarum jam.

Setiap kali terjadi interupsi pada kaki PC6, Mikrokontroler STM32F407VGT6 memeriksa status nilai yang ada pada PC7. Jika status nilai pada kaki PC7 tersebut bernilai rendah, maka variabel penyimpanan nilai posisi *encoder* akan bertambah satu. Sebaliknya, jika status nilai pada kaki PC7 bernilai tinggi, maka variabel penyimpanan nilai posisi *encoder* tersebut akan berkurang satu. Variabel penyimpanan nilai posisi *encoder* mula-mula diset pada nilai 0 di program utama (Gambar 7).

```
void HAL_GPIO_EXTI_Callback(uint16_t GPIO_Pin)
{
    switch (GPIO_Pin)
    {
        case GPIO_PIN_6: // terjadi interupsi pada kaki PC6
            if((HAL_GPIO_ReadPin(GPIOC, GPIO_PIN_7))==0) // Apakah PC7 rendah
            {
                posisiEnc += 1; // tambah variabel posisiEnc dengan 1
            }
            else // sebaliknya jika PC7 bernilai tinggi
            {
                posisiEnc -= 1; // kurangkan variabel
                posisiEnc dengan 1
            }
            break;
    }
    UNUSED(GPIO_Pin);
}
```

Gambar 7. Contoh potongan *code* untuk memeriksa status PC7 ketika PC6 interupsi.

Untuk memastikan bahwa antarmuka antara *encoder* dan mikrokontroler STM3F407VGT6 menggunakan IC LS7184N terhubung dan berjalan sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan, program yang berisi potongan *code* dalam Gambar 7 dikompilasi kemudian diunggah ke dalam mikrokontroler STM3F407VGT6. Ketika unggahan berhasil dilakukan, maka dilanjutkan dengan pengujian. Pengujian antarmuka LS7184N tersebut dilakukan dengan memutar *encoder* searah jarum jam dan kemudian kearah yang berlawanan dengan arah jarum jam. Pemutaran *encoder* tersebut kemudian diamati pada tampilan LCD20x4 (Gambar 8.a, b).



a. Antarmuka LS7184N sedang diuji



b. Contoh tampilan nilai *encoder* hasil uji dengan antarmuka LS7184N pada LCD20x4

Gambar 9. Pengujian modul antarmuka LS7184N pada STM3F407VGT6.

Hasil pengujian dengan menggunakan dua buah *encoder* secara terpisah diperlihatkan dalam Gambar 9.b. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketika *encoder* diputar berlawanan arah jarum jam maka posisi putaran *encoder* tersebut menunjukkan nilai yang berharga negative, sebaliknya ketika *encoder* yang lain diputar searah jarum jam maka posisi putaran *encoder* menunjukkan nilai yang berharga positif (meskipun tanda positif tidak ditampilkan).

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari pembahasan dan hasil pengujian adalah sebagai berikut:

- a. Antarmuka *rotary encoder* ke STM32F407VGT menggunakan modul LS7184N dilakukan dengan menghubungkan kabel catu daya *rotary encoder* dengan kabel catu daya modul LS7184N. Sementara kabel pulsa A dan B *encoder* tersebut dihubungkan dengan kaki masukan A dan B dari modul LS7184N. Selanjutnya, kaki keluaran pulsa *clock* dari modul LS7184N dihubungkan ke kaki PC6 GPIO STM32F407VGT6 yang telah diset untuk menerima sinyal *rising edge* dari pulsa jam. Kaki PC7 digunakan untuk memeriksa keadaan sinyal digital yang berasal dari kaki keluaran UP/DN modul LS7184N.
- b. Pembacaan posisi putaran *rotary encoder* dilakukan dengan melakukan penambahan satu nilai pada variable posisi di dalam program mikrokontroler ketika terjadi interupsi pada PC6 dan status sinyal pada PC7 bernilai rendah. Sebaliknya, pengurangan satu nilai pada variable posisi dilakukan ketika terjadi interupsi di kaki PC6 sementara status sinyal pada PC7 bernilai tinggi.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Wikipedia. *Brachytherapy*, dapat diakses di: <https://en.wikipedia.org/wiki/Brachytherapy>.
- [2]. Kazushi Kishi. *Brachytherapy*, Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia, 2012.
- [3]. S.C Sharma. *Brachithery: General Principles*. Department fo Radiotherapy and Onco-logy, Regional Cancer Centre, Postgraduate Institute of Medical Education and Research Chandigarh
- [4]. Wikipedia. *Incremental encoder*. Dapat diakses di: https://en.wikipedia.org/wiki/Incremental_encoder.
- [5]. Geoffrey Brown. *Discovering the STM32 Microcontroller*. 2012.
- [6]. Anonim, *Description of STM32F4xx HAL drivers*. UM1725 User Manual.
- [7]. Anonim, *LS7184N, Quadrature Clock Converter*. Datasheet, 2015.