

IMPLEMENTASI MODEL IN THE LOOP (MIL) DAN HARDWARE IN THE LOOP (HIL) SEBAGAI SARANA PENUNJANG PRAKTIKUM

Angga Wahyu Aditya¹, Restu Mukti Utomo,²Hilmansyah³, Deo Elison⁴,
Muhammad Noor Khadafi⁵, Muhamad Kikis Wonojati⁶

Program Studi Teknologi Listrik – Jurusan Teknik Elektro – Politeknik Negeri Balikpapan^{1,2,3,4,5,6}

Program Studi Teknik Listrik – Jurusan Teknik Elektro – Politeknik Negeri Semarang^{4,5,6}

angga.wahyu@poltekba.ac.id¹, restu.mukti@poltekbak.ac.id², hilmansyah@poltekba.ac.id³, delionsip@gmail.com⁴,
donquixotekhadafi@gmail.com⁵, kwonojati@gmail.com⁶

ABSTRACT

In general, this paper discusses a comparison between Models in The Loop (MIL) with Hardware in The Loop (HIL). MIL model is the first step in the controller design model. And HIL is a dynamic testing technique that simulates the input/output behavior of a physical system that is interfaced with the control system. Hardware in The Loop HIL testing allows designers to simulate real-time behavior and characteristics of the system, so as to test Under Test (DUT) devices that operate on a physical system, without the need for actual hardware or operational environments. In its use, the MIL can only simulate it. Meanwhile, HIL in its users can do simulations and experiments on Hardware. The hardware used is STM32F4. In the end, the use of the HIL system is more suitable for polytechnics compared to the MIL. This is because practicum contained in polytechnics is not just a simulation but must also include simulations and experiments on hardware so that polytechnic graduates can have knowledge and skills that are in accordance with the real conditions in the industrial world. The use of HIL can also overcome the inadequacy of tools and materials supporting simulation and practicum.

Keywords: MIL, HIL, STM32F4, MATLAB/SIMULINK

ABSTRAK

Secara umum, paper ini membahas tentang perbandingan antara *Model in The Loop* (MIL) dengan *Hardware in The Loop* (HIL). MIL merupakan langkah awal dari model design controller. HIL adalah teknik pengujian dinamis yang mensimulasikan input/output perilaku dari sistem fisik yang di interface ke sistem kontrol. Pengujian *Hardware In The Loop* HIL memungkinkan desainer untuk mensimulasikan perilaku *real-time* dan karakteristik dari sistem, sehingga untuk menguji perangkat *Under Test* (DUT) yang beroperasi pada sistem fisik, tanpa perlu perangkat keras yang sebenarnya atau lingkungan operasional. Didalam penggunaannya, MIL hanya bisa mensimulasikan saja. Sedangkan, HIL di dalam penggunaannya dapat melakukan simulasi dan percobaan pada *hardware/plant*. *Hardware/plant* yang digunakan yaitu STM32F4. Pada akhirnya, penggunaan sistem HIL lebih cocok diterapkan pada politeknik dibandingkan dengan MIL. Hal ini dikarenakan praktikum yang terdapat pada politeknik bukan hanya sekedar simulasi tetapi juga harus meliputi simulasi dan percobaan pada *hardware/plant* agar mahasiswa/i lulusan politeknik dapat memiliki ilmu dan keterampilan yang sesuai dengan keadaan nyata di dunia industri. Penggunaan HIL juga dapat mengatasi kurang memadainya alat – alat dan bahan – bahan penunjang simulasi dan praktikum.

Kata Kunci : MIL, HIL, STM32F4, MATLAB/SIMULINK

PENDAHULUAN

Dalam perkuliahan, teori dan praktikum harus diseimbangkan. Teori jika tanpa ada praktikum maka tidak akan ada gunanya. Begitu juga sebaliknya, jika praktikum tanpa disertai dengan teori maka tidak akan berhasil praktikum tersebut. Dalam praktikum, harus terdapat simulasi dan percobaan agar mendapatkan hasil praktikum yang sesuai dengan mata kuliah. Kegiatan praktikum juga merupakan kegiatan yang bertujuan untuk mengaplikasikan teori yang sudah didapat oleh mahasiswa/i dan melakukan pembuktian ilmiah terhadap mata kuliah tertentu. Kegiatan praktikum diadakan didalam laboratorium atau bengkel kerja yang sudah dilengkapi dengan alat – alat dan bahan – bahan penunjang praktikum tersebut agar mahasiswa/i dapat mengerjakan praktikum sampai berhasil tanpa ada kekurangan alat – alat dan bahan – bahan penunjang praktikum. Tapi dalam kenyataannya, masih banyak program studi baru yang masih belum memiliki laboratorium atau bengkel kerja yang dilengkapi dengan alat – alat dan bahan –

bahan penunjang praktikum. Bahkan untuk alat – alat dan bahan – bahan penunjang praktikum pun masih kekurangan dan tidak mempunyai sama sekali. Hal ini terjadi dikarenakan mahalnya harga alat – alat dan bahan – bahan penunjang praktikum dan instansi terkait belum bisa menyediakan biaya untuk memfasilitasi program studi tersebut. Kemudian dikarenakan juga alat – alat dan bahan – bahan tersebut berpotensi memiliki bahaya jika tidak ada pengawasan dari pihak pengawas laboratorium atau bengkel kerja saat sedang mengerjakan praktikum. Hal ini dikarenakan alat – alat dan bahan – bahan penunjang praktikum memiliki fungsi yang sama dengan dunia industri. Agar mahasiswa/i dapat mengerjakan praktikum, untuk mengatasi hal tersebut digunakan cara lain seperti menggunakan perangkat lunak sebagai pembantu dalam melakukan praktikum dengan metode simulasi didalam komputer. Praktikum dengan bantuan perangkat lunak terbukti berhasil menggantikan peranan dari alat – alat dan bahan – bahan yang digunakan saat mengerjakan praktikum walaupun tidak semua dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak. Dalam paper ini kami menerapkan metode MIL dan HIL. Untuk tujuan kami saat ini, yaitu dengan membandingkan antara MIL dengan HIL. MIL adalah langkah awal dari model design controller. MIL merupakan tingkat integrasi pertama dan didasarkan pada model sistem itu sendiri. (Turlea, 2018). Perancangan simulasi dibagi menjadi dua tipe metode, yaitu *Model in The Loop* (MIL) dan *Hardware in The Loop* (MIL). MIL juga mengesankan respon global sehubungan dengan stabilitas dan penyesuaian model yang diinginkan. Pengujian *Model in The Loop* merupakan metode dimana objek uji dibagi menjadi dua bagian yaitu, bagian fisik dan bagian simulasi. Dan bagian ini terhubung membentuk gabungan fisik *numeric*. (Plummer, 2016). HIL adalah teknik pengujian dinamis yang mensimulasikan input/output perilaku dari sistem fisik yang di interface ke sistem kontrol. Pengujian HIL memungkinkan desainer untuk mensimulasikan perilaku *real-time* dan karakteristik dari sistem, sehingga untuk menguji perangkat *Device Under Test* (DUT) yang beroperasi pada sistem fisik, tanpa perlu perangkat keras yang sebenarnya atau lingkungan operasional. (Aravind Krishnan B, 2017). HIL berguna untuk validasi skema koordinasi perlindungan di antara perangkat perlindungan tegangan rendah. (Luca Bertoletti, 2017). Sistem HIL dapat meningkatkan kecepatan pengujian. (Oscar Goñi, 2014). HIL dapat dihubungkan dengan sensor dan komponen yang disimulasikan sehingga dapat lebih efisien dan akurat. (F. C. Nemitanu, 2017). HIL terdiri dari *Model MATLAB/SIMULINK* untuk menghasilkan simulasi yang lebih realistis. (Mariorosario Prist, 2017).

Tabel 1. Perbandingan MIL dengan HIL

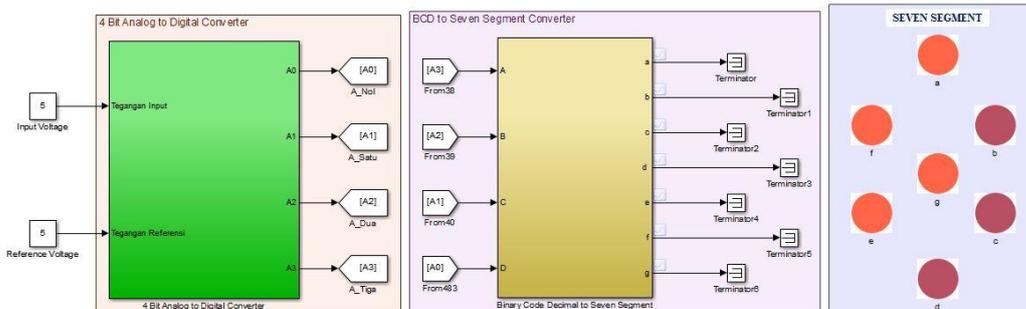
Perbedaan	MIL	HIL
Penggunaan	Sebatas simulasi	Simulasi + percobaan pada hardware
<i>Hardware/plant</i>	No	Yes
Kontroller (STM32F4)	No	Yes
Proses Komunikasi	No	Yes (Komunikasi Serial)

Berdasarkan perbedaan pada tabel 1, penggunaan sistem HIL lebih cocok diterapkan pada politeknik dibandingkan dengan MIL. Hal ini dikarenakan praktikum yang terdapat pada politeknik bukan hanya sekedar simulasi tetapi juga harus meliputi simulasi dan percobaan pada *hardware*. Dan juga kinerja yang diinginkan dapat dicapai dengan menggunakan sistem HIL (M.

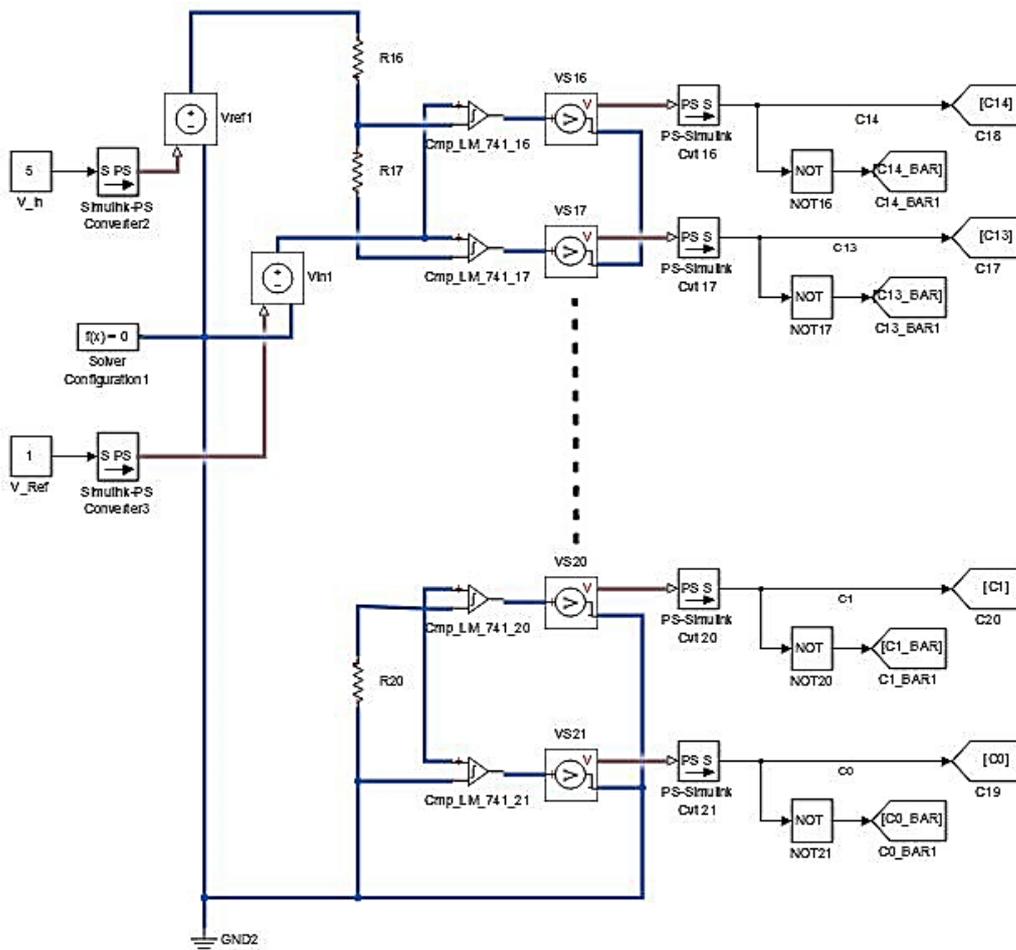
A. Täut, 2017). HIL juga dapat memungkinkan pengembangan secara cepat, pengujian, dan verifikasi sitem kontrol. (Kourosh Rahnamai, 2017).

METODE PENELITIAN

Pada gambar 1. Merupakan rangkaian *analog to digital* yang merubah sinyal *analog* menjadi sinyal *digital* atau biasanya disebut *converter Analog to Digital Converter (ADC)* yang hasil sinyal *digital* nya masuk ke (*Binary Code Decimal*) BCD ke peraga *seven segment*. Sinyal keluaran a hingga menghidupkan *segment* yang diperlukan dari tampilan *seven segmen* untuk angka desimal yang sesuai dengan BCD input. (J. Y. Hwang, 2016).



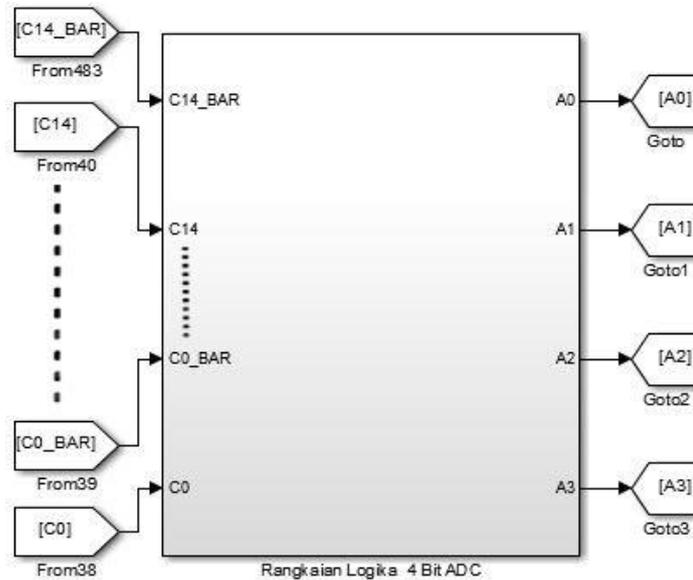
Gambar 6. Rangkaian Converter ADC ke BCD menampilkan peraga seven segment.



Gambar 7. Rangkaian 4 bit ADC

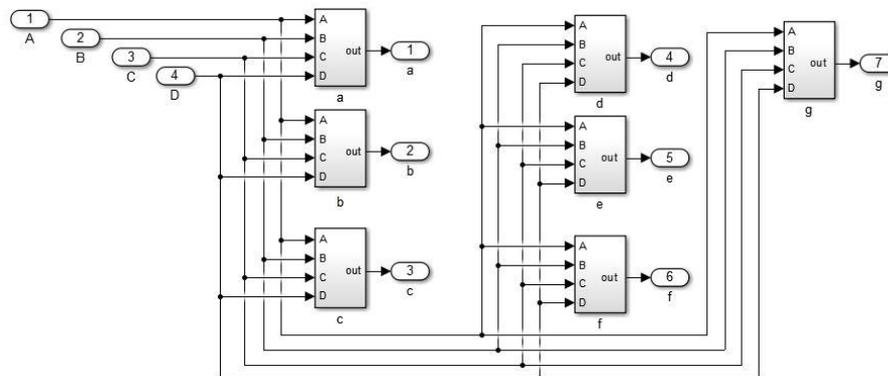
Pada gambar 2. Dengan nilai tegangan *setpoint* 5 volt sampai 0 volt. ADC merubah nilai tegangan yang masuk di *convert* menjadi sinyal *digital*. Sinyal *digital* akan diperkuat oleh *Op – Amp* yang selanjutnya akan di *convert* ke rangkaian BCD peraga *seven segment*. Apabila *Op –*

Amp mendapatkan arus yang besar dapat berakibat memperburuk kerja dari *Op – Amp* dan membuat *Op – Amp* tidak stabil. (Vishal Saxena, 2011).



Gambar 8. Rangkaian logika untuk 4 bit ADC

Gambar 3 menunjukkan subsistem gerbang logika yang digunakan untuk pengkondisi rangkaian logika 4 bit ADC dengan *output* A0, A1, A2, A3.

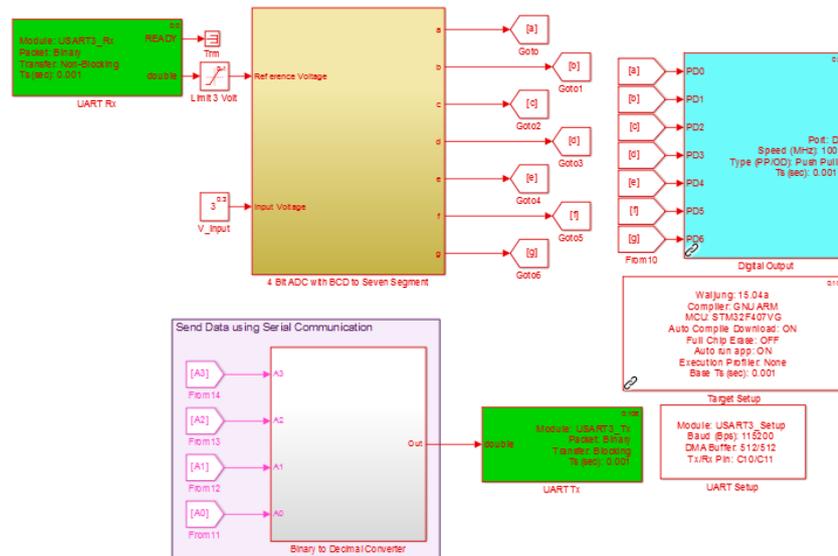


Gambar 9. Gerbang Logika yang terdapat didalam subsistem BCD

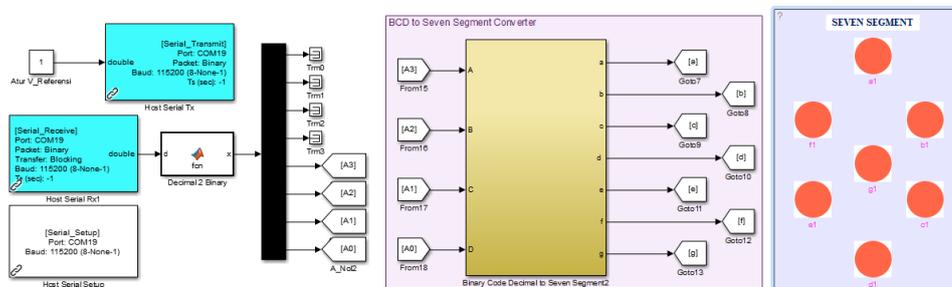
Pada gambar 4. Gerbang logika mengubah 4 bit masukan menjadi sebuah sinyal keluaran logika, b, c, d, e, f, dan g. Dimana hasil keluarannya ini menjadi *on/off* melalui *output* digital nya. (Mircea Ruba, 2016). *Output* digital nya menggunakan alat peraga *seven segment*.

Metode Simulasi HIL

Metode simulasi HIL pada STM32F4 dengan menggunakan MATLAB/SIMULINK memiliki dua buah program utama yang berbasis *Object Oriented Programming* (OOP). Program pertama berfungsi untuk menanamkan program ke STM32F4 dan yang kedua merupakan program komunikasi untuk *reading/monitoring* sistem. Gambar 5 menunjukkan program yang ditanamkan ke dalam mikrokontroler STM32F4 sedangkan gambar 6 menunjukkan program komunikasi dengan menggunakan komunikasi serial.



Gambar 10. Program HIL pada STM32F4



Gambar 11. Program reading/monitoring pada MATLAB/SIMULINK

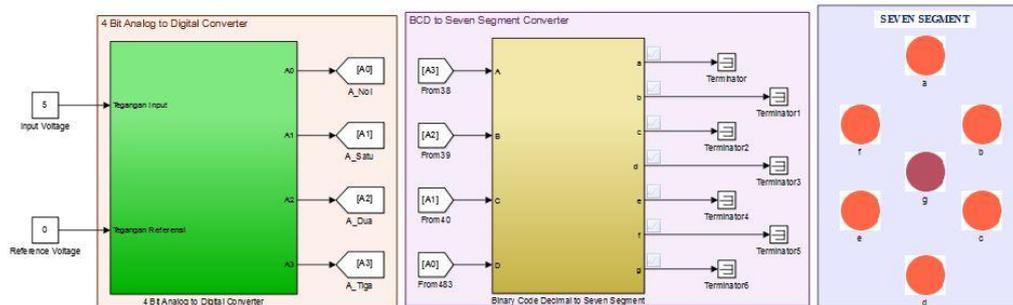
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian MIL dan HIL pada paper ini meliputi design rangkaian 4 bit *Analog to Digital Converter* (ADC) yang dikombinasikan dengan rangkaian BCD to seven segment dan seven segmen sebagai output dari hardware/plant yang digunakan. Software MATLAB/SIMULINK digunakan untuk mendesain rangkaian tersebut secara MIL. Sedangkan HIL menggunakan MATLAB/SIMULINK dengan mikrokontroler STM32F4. Waijung Blockset dan STM32 ST-LINK UTILITY digunakan untuk menanamkan program yang telah dibuat pada MATLAB/SIMULINK kedalam STM32F4. Selain itu, Waijung Blockset dan STM32 ST-LINK UTILITY juga digunakan untuk mendesain program data akuisisi dari mikrokontroler yang dikirimkan melalui komunikasi serial sehingga data dapat ditampilkan dan dimonitoring secara *real time*.

Tabel 2. Tabel Konversi Input dan Output 4 Bit ADC

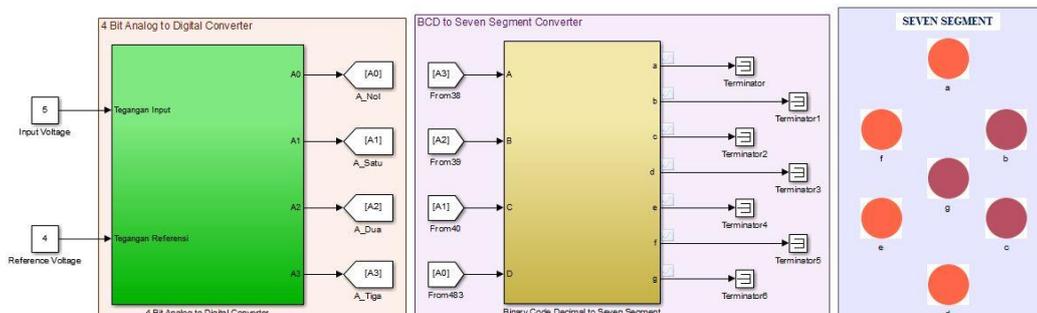
Analog Input Voltage	Comparator Output															Digital Input			
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	A3	A2	A1	A0
$0 \leq V_{in} \leq v/16$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$v/16 \leq V_{in} \leq 2/16$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
$2/16 \leq V_{in} \leq 3/16$	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
$3/16 \leq V_{in} \leq 4/16$	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
$4/16 \leq V_{in} \leq 5/16$	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
$5/16 \leq V_{in} \leq 6/16$	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
$6/16 \leq V_{in} \leq 7/16$	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
$7/16 \leq V_{in} \leq 8/16$	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
$8/16 \leq V_{in} \leq 9/16$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
$9/16 \leq V_{in} \leq 10/16$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
$10/16 \leq V_{in} \leq 11/16$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
$11/16 \leq V_{in} \leq 12/16$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1
$12/16 \leq V_{in} \leq 13/16$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0
$13/16 \leq V_{in} \leq 14/16$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1
$14/16 \leq V_{in} \leq 15/16$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0
$15/16 \leq V_{in} \leq V$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Pada Tabel 2. Menjelaskan bahwa konversi sinyal *analog* ke bentuk tegangan referensi, dengan $Op - Amp$ tegangan referensi 5 volt, tegangan input 3 volt. Pada tabel 2. Menggunakan 4 bit dengan skala maksimum 15. Mendapatkan sinyal keluaran digital sebesar $60\% \times 15 = 9$. Mengeluarkan sinyal *analog* = $(9/15) \times 5 = 3$ volt.



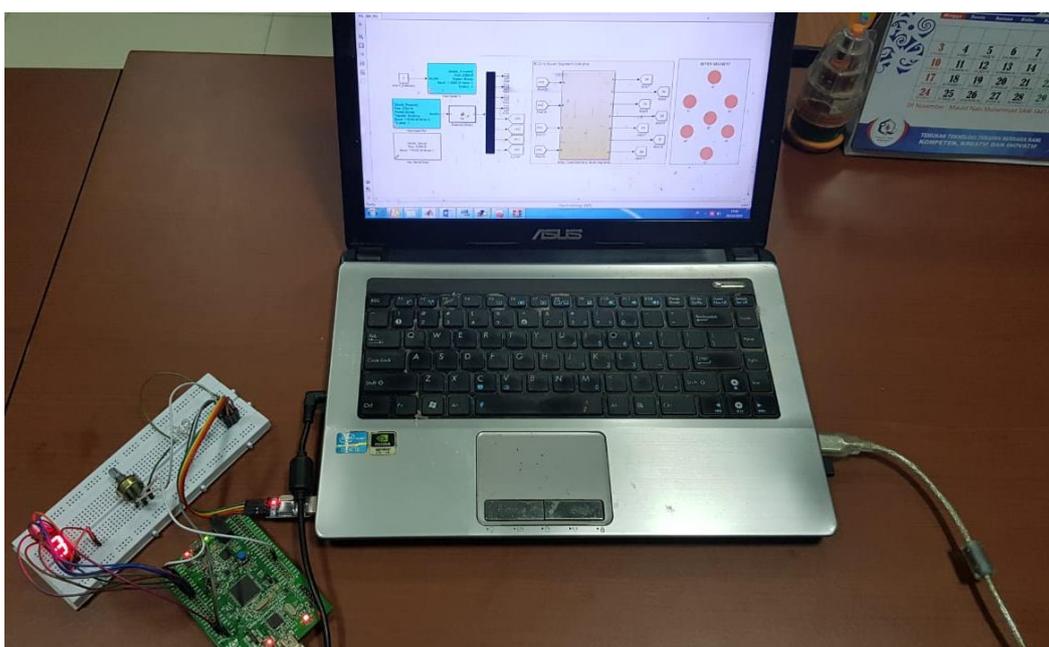
Gambar 12. Rangkaian *seven segment* dengan output angka 0.

Pada Gambar 7 menghasilkan tegangan 0 volt seperti pada tabel 2. Dan pada rangkaian *seven segment* ini menampilkan angka 0 pada *display seven segment*.



Gambar 13. Rangkaian *seven segment* dengan output huruf C.

Pada Gambar 8 menghasilkan tegangan 4 volt seperti pada tabel2. Dan pada rangkaian *seven segment* ini menampilkan huruf C pada *display seven segment*.



Gambar 14. *Experimental setup* HIL pada STM32F4 dan MATLAB/SIMULINK

Pengujian HIL pada STM32F4 sebagai sarana penunjang praktikum dengan contoh praktikum 4 bit *Analog to Digital Converter* (ADC) yang dilengkapi dengan rangkaian *BCD to seven segment converter* ditunjukkan oleh gambar 9. Mikrokontroler STM32F4 ditanamkan program seperti pada gambar 5. Pada gambar 5, tegangan input ADC yang diberikan sebesar 3.3 V dikarenakan tegangan kerja dimiliki oleh STM32F4. Tegangan referensi pada ADC sebesar 0 sampai 3.3 V.

KESIMPULAN

Penerapan MIL dan HIL sangat menunjang kegiatan praktikum terutama pada praktikum dengan alat dan bahan yang terbatas. Penggunaan MIL dapat digunakan untuk mewakili suatu sistem yang rumit dan kompleks secara simulasi. Penggunaan MIL dapat diterapkan pada software – software yang mendukung suatu sistem yang akan dibuat, seperti : MATLAB/SIMULINK, FluidSim, LABVIEW, dan lain sebagainya. Simulasi MIL dirasa kurang mewakili respon dinamis suatu *hardware/plant* secara *real time*. Teknologi HIL memungkinkan interaksi antara *hardware/plant* dengan *user* melalui proses *reading/monitoring*. Sehingga respon dinamis dari *hardware/plant* dapat dipantau secara *real time*. Oleh karena itu, HIL dirasa lebih mewakili kegiatan praktikum pada politeknik yang menekankan penggunaan *hardware/plant* pada kegiatan praktikum.

DAFTAR PUSTAKA

- Aravind Krishnan B, A. S. (2017). Digital Sensor Simulation Frame Work for Hardware-in-the-loop Testing. *International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies*, 1-5.
- F. C. Nemtanu, I. M. (2017). Hardware in the Loop Simulation Platform for Intelligent Transport Systems. *International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging*, 1-4.
- J. Y. Hwang, S. J. (2016). BCD to 7-segment decoder with oxide thin film transistors. 1-2.
- Kourosh Rahnamai, J. R. (2017). State Space Design Cycle and Hardware in the Loop Testing and Verification. 1-4.
- Luca Bertolotti, X. J. (2017). Hardware-in-the-Loop Simulation for Testing Low. *IEEE*, 1-5.
- M. A. Tăut, G. C. (2017). Model-in-the-Loop for determining the parameters of a DC motor. *IEEE 23rd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging* , 1-7.
- Mariorosario Prist, E. P. (2017). Modelling and Hardware-In-the-Loop Simulation for Energy Management in Induction Cooktops. *IEEE 7th International Conference on Consumer Electronics*, 1-2.
- Mircea Ruba, N. H. (2016). Real-Time FPGA Model in the Loop Analysis of Permanent Magnet Synchronous Machine for LEV. *International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering*, 1-6.
- Oscar Goñi, A. S. (2014). Resolution Analysis of Switching Converter. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS*, 1-9.
- Plummer, J. H. (2016). Compensator Design for Model-in-the-Loop. *UKACC 11th International Conference on Control*, 1-6.
- Turlea, A. (2018). Search based Model in the Loop Testing for Cyber Physical Systems. *IEEE 16th International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing*, 1-7.
- Vishal Saxena, S. B. (2011). Systematic Design of Three-Stage Op-amps using Split-Length Compensation . 1-4.