

# Desain dan Realisasi I/O Extended Module PLC Mikro Berbasis Prosesor ARM Cortex

Agung Nugroho Jati  
Telkom Engineering School  
Telkom University  
Bandung, Indonesia  
[ang@ittelkom.ac.id](mailto:ang@ittelkom.ac.id)

Retno Fitriani  
Telkom Engineering School  
Telkom University  
Bandung, Indonesia  
[retnofitriani2992@yahoo.co.id](mailto:retnofitriani2992@yahoo.co.id)

Muhammad Ary Murti  
Telkom Engineering School  
Telkom University  
Bandung, Indonesia  
[mam@ittelkom.ac.id](mailto:mam@ittelkom.ac.id)

Ica Marisa Hanifah  
Telkom Engineering School  
Telkom University  
Bandung, Indonesia  
[icamarisahanifah@yahoo.com](mailto:icamarisahanifah@yahoo.com)

**Abstrak**— PLC mikro berbasis prosesor *ARM Cortex* yang telah dihasilkan pada penelitian sebelumnya memiliki 32 port I/O digital dan 6 port I/O analog. Untuk meningkatkan jumlah port I/O baik analog maupun digital tanpa menambah jumlah PLC, maka perlu ditambahkan *extended module I/O*. Paper ini menjelaskan bagaimana *extended module I/O* dirancang sampai dengan direalisasikan bersama dengan PLC mikro. Adapun hasil yang diperoleh dari hasil rancangan adalah *extended module I/O* digital 20 input dan 12 output, yang bekerja pada range tegangan 2-24 Vdc. Serta *extended module I/O* analog 4 input dan 2 output, yang bekerja pada range tegangan 0-5 Vdc. Keduanya bekerja dengan konsumsi daya yang rendah.

**Kata Kunci**—*Programmable Logic Controller (PLC), Extended Module PLC, Analog I/O, Digital I/O*

## I. PENDAHULUAN

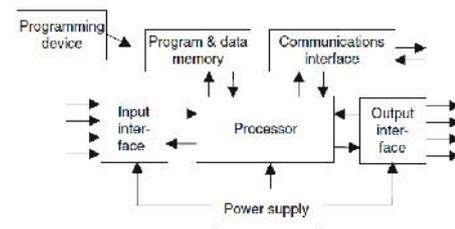
Menurut NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*), definisi PLC ialah “Alat elektronika digital yang menggunakan *programmable memory* untuk menyimpan instruksi dan untuk menjalankan fungsi-fungsi khusus seperti: logika, *sequence* (urutan), *timing* (pewaktuan), perhitungan dan operasi aritmetika untuk mengendalikan mesin dan proses”[2]

Sedangkan definisi lain (Crispin,1990) menyebutkan bahwa PLC ialah “Komputer industri khusus untuk mengawasi dan mengendalikan proses industri menggunakan bahasa pemrograman khusus untuk kontrol industri (*ladder diagram*), didesain untuk tahan terhadap lingkungan industri yang banyak gangguan (*noise, vibration, shock, temperature, humidity*).”[2]

Saat ini di Fakultas Teknik Telkom University, sedang dikembangkan penelitian mengenai PLC yang bertujuan untuk menghasilkan PLC produksi Indonesia yang memiliki fitur lengkap untuk dapat digunakan dalam standar industri dengan

harga produksi yang rendah. Hasil penelitian tersebut berupa PLC mikro yang berbasis prosesor *ARM Cortex*.

PLC mikro yang dihasilkan memiliki 32 I/O digital yang terdiri dari 20 input digital dan 12 output digital, dan 6 I/O analog yang terdiri dari 4 input analog dan 2 output analog. PLC mikro ini juga dilengkapi dengan *ladder programmer* yang dapat digunakan untuk memberikan perintah maupun mengawasi perilaku perangkat yang terhubung dengan PLC. Secara umum, deskripsi PLC mikro dapat dilihat pada diagram sistem di bawah ini.



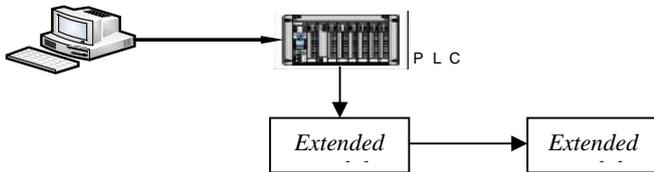
Gambar 1. Diagram Sistem PLC[1]

Pengembangan lebih lanjut dari PLC ini, dibuatlah *extended module I/O* yang mampu meningkatkan jumlah I/O tanpa menambah jumlah PLC. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan biaya, sehingga lebih terjangkau oleh industri yang kecil sekalipun.

Paper ini akan dibagi dalam empat bab, di mana pada bab pertama akan menjelaskan mengenai pendahuluan dilakukannya penelitian ini. Kemudian, pada bab kedua akan dijelaskan tentang rancangan *extended module I/O*, baik analog maupun digital. Bab ketiga akan memberikan penjelasan hasil rancangan yang telah dibuat dan diujikan. Serta bab terakhir menjelaskan kesimpulan yang didapatkan pada penelitian.

II. DESAIN DAN REALISASI

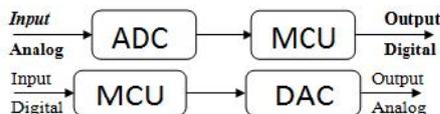
Sistem koneksi antara PLC mikro dengan *extended module* dapat dideskripsikan seperti gambar di bawah ini. Catuan energi pada *extended module* disuplai dari PLC mikro utama melalui port komunikasi yang digunakan untuk transfer data antarkeduanya.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem PLC Mikro – Extended

A. I/O Analog Extended Module

Secara spesifik pada sistem *extended modul I/O analog* yang berdiri sendiri, *extended modul* akan menerima input berupa sinyal analog yang akan diubah menjadi sinyal digital oleh ADC internal MCU *ARM Cortex*. Sinyal digital tersebut akan diolah dalam MCU *ARM Cortex* sebagaimana yang telah terprogram dalam mikroprosesor tersebut dan mengeksekusi keputusan untuk selanjutnya diubah kembali menjadi sinyal analog oleh DAC tipe MCP4922. Keluaran sinyal analog tersebut akan menjadi perintah ke aktuator.

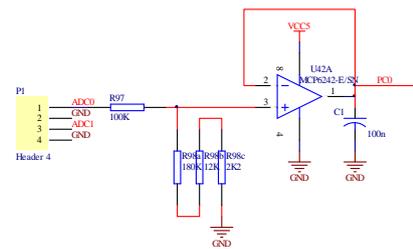


Gambar 3. Blok Diagram Extended Module I/O Analog

Namun secara keseluruhan *extended modul* ini harus bekerja dengan register yang dapat dikenali di dalam PLC dan perangkat programmer. Jika *extended modul* di pasang dengan spesifikasi atau urutan yang berbeda, PLC harus dapat mengenali identitas modul yang dipakai dan memberikan alamat sesuai dengan urutan dan banyaknya tambahan I/O yang tersedia. Begitu juga dalam perangkat programmer, program harus dapat mengidentifikasi register-register yang pakai di setiap urutan *extended modul* yang tersedia agar program *ladder* dapat berjalan sesuai yang diinginkan sehingga sistem dapat bekerja dengan sempurna.

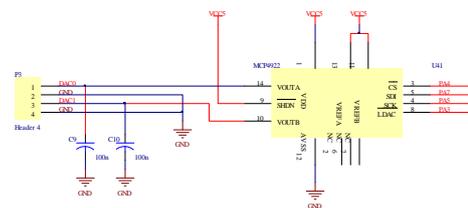
A.1. Desain Hardware Analog I/O

*Extended module I/O analog* yang dirancang memiliki 4 input analog dengan *range* tegangan input 0 – 5 V dan menggunakan ADC internal pada MCU *ARM Cortex*. Rangkaian input analog terdiri dari resistor 100k dan resistor seri 194,2k sebagai rangkaian pembagi tegangan, dan *OpAmp* MCP6242 sebagai rangkaian penguat tegangan. Rangkaian pembagi tegangan berfungsi untuk membagi nilai tegangan masukan dari 0 – 5 V menjadi 0 – 3,3 V untuk tegangan referensi ADC. Sedangkan rangkaian penguat tegangan berfungsi sebagai penyangga dengan menghasilkan hambatan keluaran yang rendah dengan hambatan masuk yang sangat tinggi, dan memiliki penguatan = 1.



Gambar 4. Desain Input Analog I/O

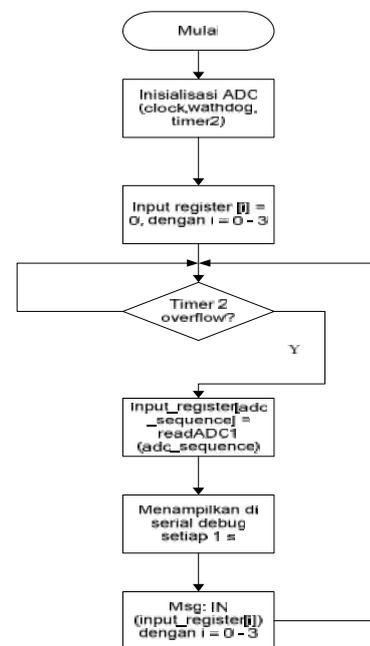
Rangkaian *output* analog hanya terdiri dari DAC MCP4922 saja. DAC MCP4922 terhubung dengan MCU *ARM Cortex* melalui SPI pada port *PWM output*. Tegangan *output* dari MCU sebesar 3,3 V DC akan diubah menjadi tegangan AC dengan jangkauan 0 – 5 V.



Gambar 5. Desain Output Analog I/O

A.2. Desain Algoritma Analog I/O

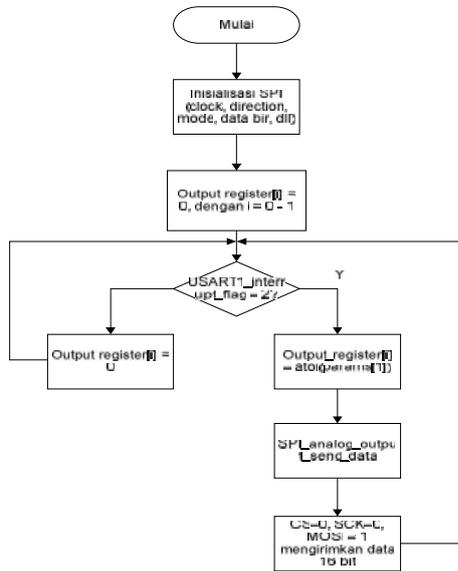
Pembacaan input analog dimulai dengan inialisasi ADC MCU *ARM Cortex*. Frekuensi ADC yang digunakan adalah 12 MHz dimana frekuensi tersebut didapat dari frekuensi PLL dibagi 6, frekuensi PLL yang digunakan adalah 72 MHz[3]. Secara lengkap, algoritma yang dirancang ditunjukkan pada diagram alir di bawah.



Gambar 6. Diagram Alir Analog Input Flow

Sementara itu, penulisan *output* dilakukan dengan menggunakan komunikasi SPI antara MCU *ARM Cortex* sebagai *Master* dan DAC MCP4922 sebagai *slave*. Komunikasi

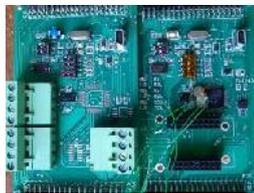
SPI yang digunakan hanya satu arah, yaitu dari MCU ke DAC, sehingga hanya dibutuhkan pin MOSI saja. Diagram alir dapat dilihat sebagai berikut di bawah ini.



Gambar 7. Diagram Alir Analog Output Flow

A.3. Realisasi Perangkat Extended Module Analog I/O

Realisasi perangkat Analog I/O ini menggunakan MCU ARM Cortex jenis STM32F103RET6 sebagai core. Kemudian, dirangkai dalam sebuah single layer PCB bersama dengan komponen inti DAC MCP4922 dan USART controller.

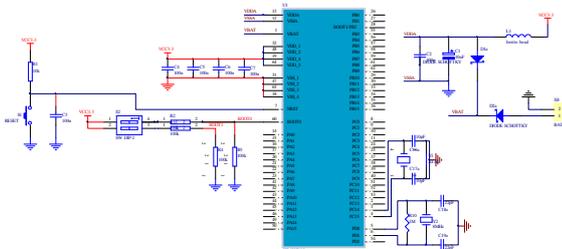


Gambar 8. Extended Module Board Analog I/O

B. I/O Digital Extended Module

B.1. Desain Hardware Digital I/O

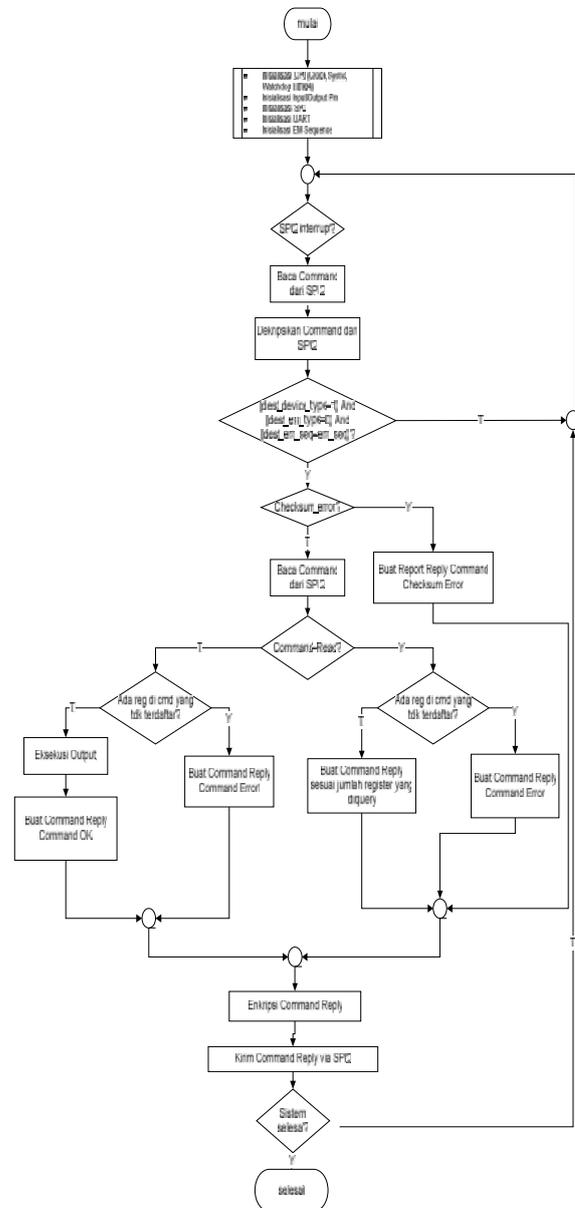
Secara umum, extended module I/O digital ini dibuat sama dengan PLC mikro yaitu dengan jumlah port 20 input dan 12 output. Namun, terdapat penyederhanaan pada bagian catu daya, analog I/O, dan wiring system.



Gambar 9. Desain Hardware Extended Module I/O Digital

B.2. Desain Algoritma Digital I/O

Algoritma sistem secara keseluruhan untuk extended module I/O digital dijelaskan pada diagram alir dibawah ini:



Gambar 10. Diagram Alir Extended Module I/O Digital

B.3. Realisasi Perangkat Extended Module Digital I/O

Board extended modul I/O terbagi 2 yaitu board MCU ARM STM32 dan board I/O, dengan tujuan untuk meminimalisasi board agar mudah di packaging dan flexible. Untuk komunikasi antar extended maupun dengan PLC extended module I/O dilengkapi dengan perancangan komunikasi SPI. Sedangkan komunikasi dengan PC dan extended module dilengkapi dengan komunikasi data serial dengan mini USB pada port USART.



Gambar 11. Board Extended Module I/O Digital

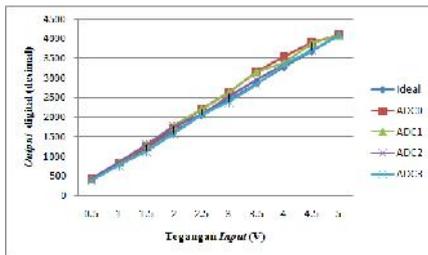
### III. HASIL PENGUJIAN

#### A. Pengujian Input – Output System

Pengujian input – output bertujuan untuk mengetahui respon nilai dan waktu terhadap proses yang diinginkan. Kemudian, pada analog I/O juga dipakai untuk melakukan validasi linieritas nilai ADC maupun DAC.

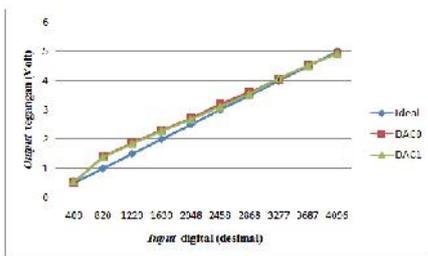
##### A.1. Input – Output Extended Module Analog I/O

Pengujian sistem input dilakukan dengan memberikan input tegangan pada input analog *extended module* sebesar 0,5V, 1V hingga 5V. Nilai input tegangan tersebut merupakan tegangan sebelum memasuki rangkaian pembagi tegangan. Sehingga nilai input tegangan ADC adalah nilai tegangan dari hasil rangkaian pembagi tegangan. *Extended module* dihubungkan dengan *personal computer* untuk mengetahui nilai digital dari hasil konversi ADC melalui *serial debug*.



Gambar 12. Grafik Linieritas Konversi ADC

Kemudian, pengujian sistem *output* dilakukan dengan cara mengatur nilai input dari DAC MCP 4922 menggunakan *serial debug*. Format pengaturan nilai input DAC yaitu "#setoutput,601186,11,<port output>,<nilai output yang diinginkan>". Setelah mengatur nilai input tersebut, dilakukan pengukuran tegangan *output* dari DAC MCP 4922.



Gambar 13. Grafik Linieritas Konversi DAC

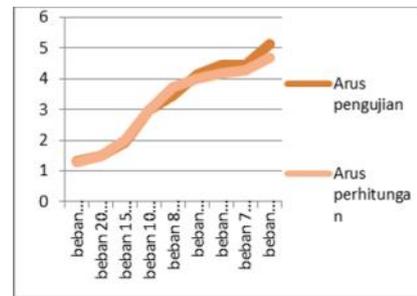
Dari hasil pengujian respon input – *output* ADC dan DAC terdapat nilai *error* yang cukup besar dari nilai digital ideal hasil konversi. *Error* tersebut dikarenakan nilai tegangan input ADC MCU yang merupakan nilai hasil pembagi rangkaian tegangan. Kemudian, hal tersebut juga dialami pada output nilai digital yang dikonversi menggunakan MCP 4922.

#### A.2. Input – Output Extended Module Digital I/O

Pengujian input digital dilakukan dengan cara mengetahui respon elektrik tegangan ON-OFF pada *optocoupler* PC817 sebagai komponen input. Respon elektrik *optocoupler* ditandai dengan saturasinya transistor yang akan menyalakan indikator LED input.

Dari hasil pengujian diperoleh bahwa kinerja respon elektrik dari *optocoupler* agar menghasilkan daerah saturasi ketika *range* tegangan rata-rata 2,685-24V dengan arus rata-rata 0.574mA. Perbedaan kondisi ON pada setiap *optocoupler* dipengaruhi dari konfigurasi dari nilai arus untuk menjadikan *optocoupler* dalam keadaan saturasi dari masing-masing *optocoupler* dan toleransi dari LED indikator

Selanjutnya, pengujian komponen output dilakukan dengan mengetahui dan membuktikan kinerja dari *relay* OMRON G6DS-1A dengan kehndalan 30Vdc 5 Ampere dan 220Vac 5 Ampere. Ketahanan *relay* akan diuji dengan memberikan beban berupa resistor *dummy load* yang di-*tuning* sampai batas maksimal yang dapat ditahan oleh kinerja *relay*.



Gambar 14. Grafik Linieritas Respon Output terhadap Beban

Hasil pengujian dan grafik kelinieritasan dari ketahanan *relay* dapat dilihat gambar di atas. Hasil pengujian pennunjukkan keadaan stabil dengan nilai batas 20% dibawah keadaan standar dari *relay*. Pemberian beban yang terlalu besar kepada *relay* akan membuat kinerjanya tidak optimal dan cenderung akan merusak *relay*.

#### B. Konsumsi Daya

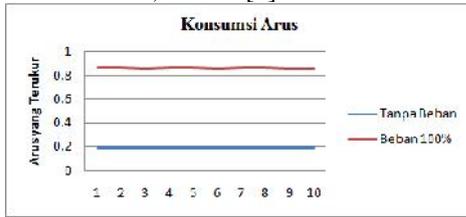
Pengujian konsumsi daya diperlukan untuk menentukan sumber tenaga yang cukup pada PLC mikro sehingga mampu mencatu seluruh *extended module* yang terhubung. Dengan kata lain, maka setiap *extended module* harus memiliki konsumsi daya sekecil mungkin. Adapun konsumsi daya PLC mikro tanpa adanya *extended module* adalah  $\pm 5$  Watt.

##### B.1. Konsumsi Daya Analog I/O

Skenario yang digunakan dalam pengujian konsumsi daya analog I/O ini yaitu dengan mengukur besar konsumsi daya pada 2 kondisi. Pertama, konsumsi daya ketika tanpa beban, dan selanjutnya dengan beban 100%. Beban disini diartikan saat input analog MCU diberikan tegangan sebesar 5 Volt.

Hasil pengukuran konsumsi arus saat tanpa beban atau dengan kata lain DAC tidak bekerja dan saat beban 100% yang terdapat pada gambar di bawah. Hasil menunjukkan terdapat selisih nilai arus rata-rata sebesar 0,6807 mA. Dari selisih nilai rata-rata tersebut dapat disimpulkan bahwa DAC

MCP 4922 masih bekerja dengan baik dan sesuai fungsinya karena konsumsi arus dari DAC MCP4922 yang terukur masih masuk ke dalam jangkauan konsumsi arus dari DAC MCP4922 sesuai *datasheet*, dimana konsumsi arus maksimal saat beroperasi bernilai 0,700 mA[5].



Gambar 15. Grafik Hasil Pengujian Konsumsi Daya Analog I/O

Selain itu, dari hasil pengujian diperoleh daya rata-rata minimum *extended module* I/O analog sebesar 37.181936 mW, dan daya rata-rata maksimum sebesar 116.5722 mW.

B.2. Konsumsi Daya Digital I/O

Pengujian konsumsi daya pada digital I/O dilakukan dengan menggabungkan *board* MCU dengan *board* I/O dalam keadaan semua output berada pada kinerja aktif *high* atau ON. Catuan yang diujikan adalah 3,3 Vdc sebagai catuan MCU dan 5 Vdc sebagai catuan komponen seperti komponen *relay*. Catuan didapat dari *main module* PLC mikro yang dihubungkan dengan *board extended module* I/O digital.



Gambar 16. Hasil Pengujian Konsumsi Daya Digital I/O catudaya 3,3 V



Gambar 17. Hasil Pengujian Konsumsi Daya Digital I/O catudaya 5 V

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan rancangan *extended module* analog I/O dan digital I/O, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. *Extended module* analog I/O mampu bekerja dengan baik meski ADC-DAC terdapat error akibat ketidaksesuaian nilai tegangan referensi, namun tetap pada batas nilai selisih yaitu 0,6807 mA dari maksimum 0,700 mA. Serta, untuk dapat bekerja memerlukan konsumsi daya rendah yaitu 166,5722 mWatt.
2. *Extended module* digital I/O bekerja dengan konsumsi daya rendah sebesar 42,21591 mW ketika beban OFF dan 51,39717 mW ketika beban ON. Kemudian, kinerja ON sistem input *optocoupler* sumber DC berada pada *range* 2,685V hingga 24V dengan arus sebesar 0,561mA.

REFERENSI

- [1] Wahyu, Lukman Mawardi. 2009. Perancangan dan Implementasi PLC Mikro Berbasis MCU ST uPSD3254BV. Bandung : IT Telkom.
- [2] Bolton, W. 2009. *Programmable Logic Controllers Fifth Edition*. UK: Elsavier.
- [3] Ltd, Hitex (UK). 2009. *The Insider's Guide To The STM32 ARM Based Microcontroller: An Engineer's Introduction To The STM32 Series Version 1.8*. United Kingdom: University Of Warwick Science Park Coventry.
- [4] Wicaksono, Handy, (2009), *Programable Logi Controller Teori, Pemrograman dan Aplikasinya dalam Otomasi Sistem*, Surabaya, Graha Ilmu.
- [5] Microchip Technology Incorporated, (2010), *Datasheet MCP4902/4912/4922*, USA, Microchip Technology Incorporated.
- [6] Kalinsky, David, & Kalinsky, Roe, (2002). *Introduction to Serial Pheriper Interface*, New York, UBM Electronics.

**Halaman Ini Sengaja Dikosongkan**