

**IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL PROPORSIONAL
INTEGRAL DALAM SISTEM PENGENDALI SUHU DAN
KELEMBABAN TANAH PADA MINIATUR BUDIDAYA CACING
TANAH**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK KONTROL

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

RANGGA PANDU PURNAMA

NIM. 105060300111072

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

LEMBAR PENGESAHAN**IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL PROPORSIONAL
INTEGRAL DALAM SISTEM PENGENDALI SUHU
DAN KELEMBABAN TANAH PADA MINIATUR BUDIDAYA
CACING TANAH****SKRIPSI****TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK KONTROL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

**RANGGA PANDU PURNAMA****NIM. 105060300111072**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 1 Februari 2016

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, M.T.

NIP. 19650913 199002 2 001

Dosen Pembimbing II

Ir. Retnowati, M.T.

NIP. 19511224 198203 2 001

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19741203 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI :

Implementasi Sistem Kontrol Proporsional Integral dalam Sistem Pengendali Suhu dan Kelembaban Tanah pada Miniatur Budidaya Cacing Tanah

Nama Mahasiswa : Rangga Pandu Purnama

NIM : 105060300111072

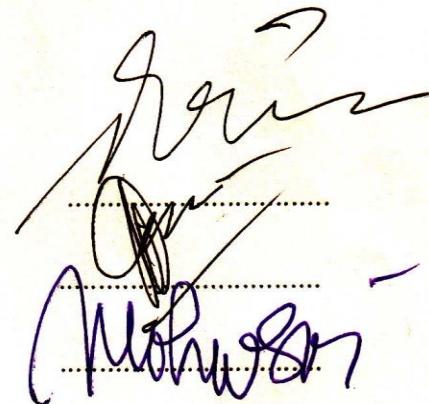
Program Studi : Teknik Elektro

Konsentrasi : Teknik Kontrol

Komisi Pembimbing :

Ketua : Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, M.T.

Anggota : Ir. Retnowati, M.T.



Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : Goegoes Dwi Nusantoro, ST., M.T.

Dosen Penguji 2 : Ir. Purwanto, M.T.

Dosen Penguji 3 : Ir. Moch. Rusli, Dipl. Ing.

Tanggal Ujian : 26 Januari 2016

SK Penguji : No. 153/UN10.6/SK/2016



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

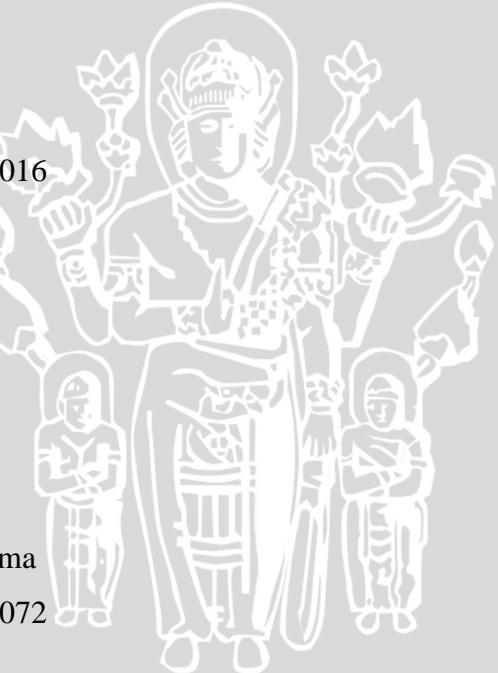
Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 19 Januari 2016

Mahasiswa,
(Materai Rp 6.000,-)

(Tanda Tangan)
Rangga Pandu Purnama
NIM. 105060300111072



KATA PENGANTAR

Alhamdulillâh, segala puji hanya bagi Allâh Subhanahu Wa Taâla, Rabb alam semesta. Dialah Allâh, Tuhan Yang Maha Satu, Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Dialah Sebaik baik Penolong dan Sebaik baik Pelindung. Shalawat dan salâm kepada Nabi Muhammad Rasulullâh Shallallâhu Alaihi Wa Salâm, Sang pembawa kabar gembira dan sebaik baik suri tauladan bagi yang mengharap Rahmat dan Hidayah-Nya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, bimbingan serta dorongan dari semua pihak penyelesaian skripsi ini tidak mungkin bisa terwujud. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar – besarnya kepada:

- Keluarga tercinta, kedua orang tua Mathias Budiono dan Indarti yang selalu memberikan kasih sayang dan doanya yang tiada akhir. Serta Bisma Adi Satria yang selalu memberikan dukungan.
- Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Hadi Suyono, ST.,MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Purwanto, MT. selaku KKDK Teknik Kontrol Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Ibu Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, MT. sebagai Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, pengarahan, gagasan, ide, saran, motivasi yang telah diberikan, serta waktu yang diluangkan untuk bimbingan.
- Ibu Ir. Retnowati, MT. sebagai Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, pengarahan, gagasan, ide, saran, motivasi yang telah diberikan, serta waktu yang diluangkan untuk bimbingan.
- Bapak Ibu Dosen, karyawan, staf recording dan RBTE atas segala bantuan dan kemudahan.
- Teman - teman seperjuangan dalam mengerjakan skripsi Gigih, dan Risqi terima kasih telah berbagi pengalaman dan pengetahuan, serta canda dan tawa.
- Teman - teman “MaGiC”, Mbah, Luthfi, Gilang, Rainer, Randy, Dandy, Mukson, Ulit, Dany, Ernanda, Genji dan Kadek terima kasih telah berbagi kesenangan, pelajaran hidup, serta canda dan tawa.

- Sahabat SMAN 3 Malang, Azhar, Garisa, Revan, Amri, Hilman, Erie, Freddy, Veladito, dkk. yang selama ini juga selalu menghibur dan memberi support untuk menuju kesuksesan.
- Keluarga besar angkatan 2010 MAGNET'10 atas do'a, semangat, serta dukungan yang diberikan pada penulis.
- Semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Semoga Allâh SWT mencatat amalan ikhlas kami dan semua pihak yang turut membantu sehingga skripsi ini terselesaikan. Akhirnya, kami menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna namun semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Allâhumma Amîn.

Malang, Januari 2016

Penulis



DAFTAR ISI

nn	Halama
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
RINGKASAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Cacing Tanah Merah	7
2.2 Sensor Kelembaban Tanah LM393	8
2.3 Sensor Suhu DI-WLM35TS	9
2.4 Arduino Mega 2560	10
2.5 Kontroler	12
2.5.1 Kontroler Proporsional	13
2.5.2 Kontroler Integral	14
2.5.3 Kontroler Derivatif	15
2.5.4 Kontroler Proporsional Integral (PI)	16
2.5.5 Metode Kontrol Proporsional Integral (PI)	17
2.5.6 Kontroler <i>On/Off</i>	20
2.6 Pompa dan Motor <i>Direct Current</i> (DC)	21
2.6.1 Perhitungan Duty Cycle PWM	22
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Realisasi Pembuatan Sistem	25
3.2 Pengujian dan Analisis Data	25
3.3 Pengambilan Kesimpulan dan Saran	26
BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	27

4.1 Perancangan Sistem.....	27
4.1.1 Diagram Blok	27
4.1.2 <i>Flowchart</i> Sistem	29
4.2 Prinsip Kerja Alat	30
4.3 Spesifikasi Alat	31
4.4 Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	32
4.4.1 Sensor Suhu DI-WLM35TS	32
4.4.2 <i>Driver</i> Motor L298N	32
4.4.3 Relay 2 Channel	33
4.4.4 Motor DC	34
4.4.5 Modul Arduino Mega 2560.....	34
4.5 Perancangan Kontroler.....	36
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS	41
5.1 Pengujian Sensor Suhu DI-WLM35TS	41
5.2 Pengujian Sensor Kelembaban Tanah LM393.....	44
5.3 Pengujian <i>Driver</i> L298N.....	47
5.4 Pengujian Pompa DC	50
5.5 Pengujian Sistem Keseluruhan.....	52
BAB VI PENUTUP	61
6.1 Kesimpulan.....	61
6.2 Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
	Gambar 2.1 Struktur Tubuh pada <i>Lumbricus Rubellus</i>	8
	Gambar 2.2 Bentuk Soil Moisture Sensor LM393	9
	Gambar 2.3 Bentuk Sensor Suhu DI-WLM35TS	10
	Gambar 2.4 Bentuk Fisik Arduino Mega 2560	11
	Gambar 2.5 Tampilan Software Arduino	12
	Gambar 2.6 Diagram Blok Kontroler Proporsional	13
	Gambar 2.7 Diagram Blok Kontroler Integral	14
	Gambar 2.8 Diagram Blok Kontroler Derivatif	15
	Gambar 2.9 Diagram Blok Kontroler PI	16
	Gambar 2.10 Kurva Respon <i>Unit Step</i> yang Menunjukkan 25% <i>Maximum Overshoot</i>	17
	Gambar 2.11 Respon <i>Plant</i> Terhadap Masukan Berupa <i>Unit Step</i>	17
	Gambar 2.12 Kurva Respon yang Berbentuk S	18
	Gambar 2.13 Sistem Loop Tertutup dengan Kontrol Proporsional	19
	Gambar 2.14 Osilasi Berkesinambungan dengan Periode Pcr	20
	Gambar 2.15 Diagram Blok Kontroler <i>On/Off</i>	21
	Gambar 2.16 Sinyal PWM.....	22
	Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem.....	27
	Gambar 4.2 <i>Flowchart</i> Keseluruhan Sistem	29
	Gambar 4.3 Desain Perancangan Alat.....	31
	Gambar 4.4 <i>Driver</i> Motor L298N.....	33
	Gambar 4.5 Konfigurasi Relay 2 <i>Channel</i> dengan Lampu	33
	Gambar 4.6 Desain Sistem Arduino Mega 2560	35
	Gambar 4.7 Rangkaian Pengujian <i>Open Loop</i>	36
	Gambar 4.8 Grafik Karakteristik Respon Kelembaban.....	37
	Gambar 4.9 Metode 1 <i>Ziegler-Nichols</i>	38
	Gambar 5.1 Rangkaian Pengujian Sensor Suhu DI-WLM35TS	42
	Gambar 5.2 Grafik Hubungan Termometer dengan Sensor Suhu DI-WLM35TS	44
	Gambar 5.3 Rangkaian Pengujian Sensor Kelembaban Tanah LM393	45
	Gambar 5.4 Karakteristik Sensor Kelembaban Tanah LM393	46
	Gambar 5.5 Rangkaian Pengujian <i>Driver</i> Motor DC L298N	47
	Gambar 5.6 Grafik Perbandingan Keluaran Arduino Mega 2560 dan <i>Driver</i> L298N ..	49
	Gambar 5.7 Rangkaian Pengujian Pompa DC.....	50



Gambar 5.8 Grafik Karakteristik Motor DC	51
Gambar 5.9 Grafik Respon Suhu Metode <i>On/Off</i> (Percobaan Pertama)	53
Gambar 5.10 Grafik Respon Suhu Metode <i>On/Off</i> (Percobaan Kedua).....	54
Gambar 5.11 Grafik Respon Suhu Metode <i>On/Off</i> dengan Gangguan	56
Gambar 5.12 Respon Kelembaban Metode Kontroler PI	57
Gambar 5.13 Respon Kelembaban Metode Kontroler PI dengan Gangguan	58



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
	Tabel 2.1 Aturan Penalaan <i>Ziegler-Nichols</i> Berdasarkan Respon <i>Unit Step</i> dari <i>Plant</i> .	19
	Tabel 2.2 Aturan Dasar <i>Ziegler-Nichols</i> Berdasarkan Kcr dan Pcr	20
	Tabel 4.1 Respon Kecepatan Motor DC Terhadap Sinyal PWM	34
	Tabel 4.2 Fungsi Pin Arduino Mega 2560.....	36
	Tabel 4.3 Aturan Metode 1 <i>Ziegler-Nichols</i>	39
	Tabel 5.1 Hasil Pengujian Sensor Suhu DI-WLM35TS.....	43
	Tabel 5.2 Hasil Pengujian Sensor Kelembaban Tanah LM393	45
	Tabel 5.3 Hasil Pengujian <i>Driver</i> Motor L298N.....	48



RINGKASAN

Rangga Pandu Purnama, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2016, Implementasi Sistem Kontrol Proporsional Integral dalam Sistem Pengendali Suhu dan Kelembaban Tanah pada Miniatur Budidaya Cacing Tanah, Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, MT., Ir. Retnowati, MT.

Cacing tanah jenis *Lumbricus Rubellus* atau cacing tanah merah merupakan jenis cacing tanah yang paling baik untuk dibudidayakan. Karena cacing tanah merah dapat tumbuh sampai dengan panjang 105mm. Hal ini melebihi panjang dari cacing jenis lainnya. Dalam pembudidayaan cacing tanah merah, media hidup cacing harus diperhatikan. Kelembaban yang baik untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan cacing adalah 25% - 30%, dan suhu yang baik adalah 20,5°C – 24,5 °C. Untuk menjaga suhu dan kelembaban tanah, peternak cacing pada umumnya menggunakan cara manual dengan menyiramkan air pada tanah. Tentu hal ini menimbulkan kesalahan atau *error* dan membutuhkan ketelitian.

Maka dibuatlah alat pengontrol suhu dan kelembaban tanah yang dapat mengontrol suhu dan kelembaban pada media hidup cacing tanah dengan menggunakan kontroler PI pada *plant* kelembaban dan *on/off* pada *plant* suhu. Yakni dengan sistem penyiraman dengan menggunakan pompa DC 12V yang dikontrol dengan *driver* motor DC L298n, dan sistem suhu menggunakan lampu, dan kipas yang dikontrol dengan menggunakan *relay* agar dapat menghasilkan suhu dan kelembaban yang sesuai dengan *setpoint*. *Setpoint* suhu yang digunakan adalah 23°C dan *setpoint* kelembaban yang digunakan adalah 28%. Dari hasil pengujian alat yang telah dilakukan, didapatkan parameter PI dengan metode pertama *Ziegler-Nichols* yaitu $K_p = 5,25$, dan $K_i = 0,2625$.

Kata kunci- Suhu, kelembaban tanah, PI, *driver L298n*, *pompa DC*, *Ziegler-Nichols*.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Cacing tanah termasuk hewan tingkat rendah karena tidak mempunyai tulang belakang atau *invertebrata*. Cacing tanah termasuk kelas Oligochaeta. Contoh famili dari kelas ini adalah *Megascilicidae* dan *Lumbricidae*. Cacing tanah bukanlah hewan yang asing bagi masyarakat kita, terutama bagi masyarakat pedesaan. Hewan ini mempunyai potensi yang sangat menakjubkan bagi kehidupan dan kesejahteraan manusia. Jenis-jenis yang paling banyak dikembangkan oleh manusia berasal dari famili *Lumbricidae* dengan genus *Lumbricus*, *Eisenia*, *Pheretima*, *Perionyx*, *Diplocardi* dan *Lidrillus* (Budiarti, A., 1992).

Dalam bidang pertanian, cacing menghancurkan bahan organik sehingga memperbaiki aerasi dan struktur tanah, manfaatnya lahan menjadi subur dan penyerapan nutrisi oleh tanaman menjadi baik. Keberadaan cacing tanah akan meningkatkan populasi mikroba yang menguntungkan tanaman. Selain itu cacing tanah dapat digunakan sebagai bahan pakan ternak, hal ini berkat kandungan protein, lemak dan mineralnya yang tinggi, cacing tanah dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak seperti unggas, ikan, udang dan kodok. Bahan baku obat, dan bahan ramuan untuk penyembuhan penyakit, karena secara tradisional cacing tanah dipercaya dapat meredakan demam, menurunkan tekanan darah, menyembuhkan bronchitis, reumatik sendi, sakit gigi, dan tipus. Bahan baku kosmetik, cacing dapat diolah untuk digunakan sebagai pelembab kulit dan bahan baku pembuatan lipstik. Manfaat lainnya yaitu sebagai bahan makanan manusia, karena cacing merupakan sumber protein yang berpotensi untuk dimasukkan sebagai bahan makanan manusia seperti halnya daging sapi atau ayam (Budiarti, A., 1992).

Cara pembudidayaan cacing tanah media hidup cacing dikondisikan sebagai berikut. Tanah sebagai media hidup cacing harus mengandung bahan organik dalam jumlah yang besar. Bahan - bahan organik tanah dapat berasal dari serasah (daun yang gugur), kotoran ternak atau tanaman dan hewan yang mati. Cacing tanah menyukai bahan - bahan yang mudah membusuk karena lebih mudah dicerna oleh tubuhnya. Untuk pertumbuhan yang baik, cacing tanah memerlukan tanah yang sedikit asam sampai netral atau pH sekitar 6 - 7,2. Dengan kondisi ini, bakteri dalam tubuh cacing tanah dapat bekerja

dengan baik untuk mengadakan pembusukan atau fermentasi. Kelembaban yang baik untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan cacing tanah adalah antara 15-30 %. Jika kelembaban terlalu tinggi maka cacing akan berwarna pucat dan akhirnya akan mati. Sedangkan jika kelembaban tanah terlalu rendah maka cacing tanah akan kesulitan dalam bergerak. Suhu yang baik untuk pertumbuhan cacing tanah dan penetasan telur cacing adalah sekitar 15–25°C atau suam-suam kuku. Suhu yang lebih tinggi dari 25°C masih baik asalkan naungan cukup dan kelembaban cukup (Sayuti, F., 1999).

Pada umumnya peternak menggunakan cara manual untuk mengatasi masalah suhu dan kelembaban pada media hidup cacing tanah, yaitu dengan cara menyiram tanah dengan air secara teratur. Cara manual tentu menghasilkan beberapa kesalahan seperti kelembaban terlalu tinggi atau terlalu rendah. Selain itu cara manual dapat merepotkan peternak jika media ternak berjumlah banyak dan peternak juga harus mengecek secara rutin. Maka dari itu dibutuhkan alat pengontrol suhu udara dan kelembaban tanah secara otomatis.

Dalam suatu sistem otomatis dibutuhkan adanya kontroler. Kontroler merupakan salah satu komponen sistem yang berfungsi mengolah sinyal umpan balik dan sinyal referensi menjadi sinyal kontrol, sehingga performansi dari sistem yang dikendalikan sesuai dengan spesifikasi performansi yang diinginkan. Keberadaan kontroler dalam sebuah sistem kendali mempunyai kontribusi yang besar terhadap perilaku sistem. Hal ini disebabkan oleh komponen penyusun sistem yang tidak dapat diubah. Artinya karakteristik *plant* harus diterima sebagaimana adanya, sehingga perubahan perilaku sistem hanya dapat dilakukan melalui penambahan suatu subsistem seperti kontroler. Prinsip kerja kontroler adalah membandingkan nilai aktual keluaran *plant* dengan nilai referensi, kemudian menentukan nilai kesalahan dan akhirnya menghasilkan sinyal kontrol untuk meminimalkan kesalahan dalam suatu sistem (Pitawarno, E., 2002).

Dalam skripsi ini digunakan kontroler proporsional integral (PI) yang merupakan gabungan antara kontroler proporsional dan kontroler integral. Kontroler proporsional memiliki kelebihan dalam mempercepat performa sistem, sedangkan kontroler integral mempunyai kelebihan dalam menghilangkan *offset*. Diharapkan dengan gabungan kedua kontroler ini dapat menghasilkan performa sistem yang lebih cepat, menghilangkan *offset*, dan menghasilkan keluaran sistem sesuai yang diinginkan.

1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang telah diuraikan pada latar belakang, maka rumusan masalah dapat ditekankan pada skripsi ini, sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membuat perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang menunjang pengendalian suhu dan kelembaban budidaya cacing tanah?
2. Bagaimana menentukan parameter kontroler Proporsional Integral (PI)?
3. Bagaimana karakteristik respon sistem setelah diberi kontroler PI?

1.3 Batasan Masalah

Mengacu pada permasalahan pada skripsi ini, maka akan dibatasi pada:

1. Menggunakan kontroler PI pada sistem kelembaban dan kontroler *On-Off* pada sistem suhu.
2. Pengontrolan yang dilakukan adalah pengontrolan suhu udara dan kelembaban tanah.
3. Pengontrolan keasaman atau pH tidak dibahas.
4. *Setpoint* yang digunakan adalah 23°C untuk *plant* suhu, dan 28% untuk *plant* kelembaban.
5. Parameter suhu dan kelembaban dikondisikan dengan suhu dan kelembaban yang baik untuk cacing tanah jenis *Lumbricus Rubellus*.
6. Suhu yang baik pada media hidup cacing tanah adalah 20,5 - 24,5 °C dengan kelembaban pada tanah adalah 25 - 30%.
7. Sensor suhu yang digunakan adalah DI-WLM35TS dan sensor kelembaban yang digunakan adalah LM393.
8. Pada perangkat keras kontroler menggunakan Arduino Mega tipe 2560.
9. Pembahasan mekanik, model matematis, serta rangkaian elektronika tidak dibahas secara mendalam, pembahasan ditekankan pada penggunaan kontroler PI pada sistem.

1.4 Tujuan

Tujuan skripsi ini adalah membuat alat kontrol otomatis dengan menggunakan Arduino Mega 2560 untuk membantu pengendalian suhu udara dan kelembaban tanah pada budidaya cacing tanah.

1.5 Sistematika Pembahasan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam skripsi ini yang terdiri dari enam bab dengan sistematika pembahasan sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Membahas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika pembahasan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perancangan dan pembuatan alat.

BAB III Metode Penelitian

Membahas metode penelitian.

BAB IV Perancangan dan Pembuatan Alat

Membahas perancangan alat yang meliputi spesifikasi, perencanaan blok diagram, prinsip kerja, dan pembuatan alat. Setelah itu, bagaimana penerapannya dalam sistem secara keseluruhan.

BAB V Pengujian dan Analisis

Membahas hasil pengujian sistem yang sudah dibuat dan analisis hasil yang diperoleh.

Bab VI Kesimpulan dan Saran

Membahas kesimpulan penelitian dan saran-saran yang diperlukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

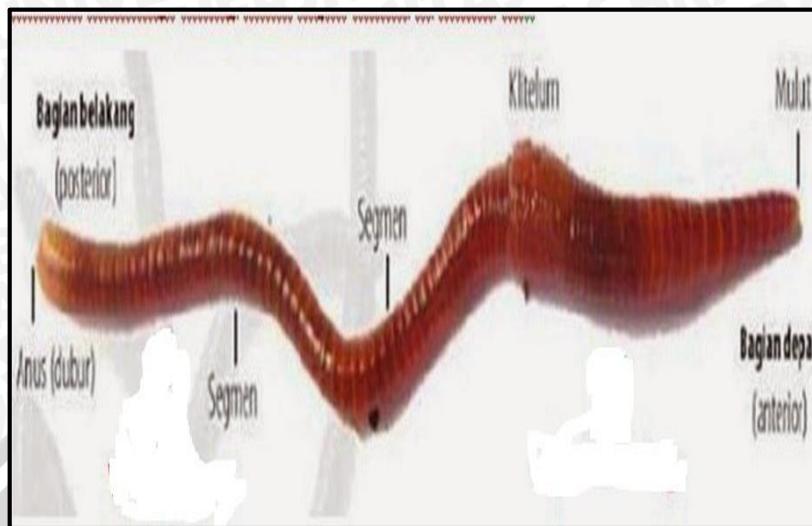
Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai teori - teori yang menunjang dalam perancangan pengendalian suhu ruang dan kelembaban tanah pada miniatur budaya cacing tanah berbasis Arduino Mega 2560.

2.1 Cacing Tanah Merah (*Lumbricus Rubellus*)

Lumbricus Rebellus atau cacing tanah merah termasuk family *Lumbricidae*. Kedudukan cacing tanah merah dalam sistematika (*taksonomi*) hewan adalah sebagai berikut:

Kingdom	: <i>Animalia</i>
Phylum	: <i>Annelida</i>
Kelas	: <i>Clitellata</i>
Sub Kelas	: <i>Oligochaeta</i>
Ordo	: <i>Haplotaxida</i>
Famili	: <i>Lumbricidae</i>
Genus	: <i>Lumbricus</i>
Spesies	: <i>Lumbricus Rubellus</i>

Cacing tanah merah memiliki panjang tubuh sekitar 25 mm sampai dengan 105 mm. Dalam habitat aslinya cacing ini memang kalah bersaing dengan jenis cacing lainnya, tetapi jika diternakkan pertumbuhannya dapat melebihi jenis cacing lainnya. Bentuk tubuh cacing ini pipih dan memiliki segmen sebanyak 90-195 buah dan memiliki *klitelum* atau alat reproduksi pada segmen 27-32. Struktur tubuh pada *lumbricus rubellus* dapat dilihat dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur Tubuh pada *Lumbricus Rubellus* (<http://www.wikipedia.com>)

Untuk pertumbuhan yang baik bagi *lumbricus rubellus* diperlukan keasaman (pH) tanah antara 6,0 - 7,2. Keasaman yang tinggi mengakibatkan cacing akan mati. Faktor suhu juga harus diperhatikan, suhu yang terlalu rendah maupun suhu yang terlalu tinggi akan mempengaruhi proses fisiologi seperti pernapasan, pertumbuhan, perkembang-biakkan dan *metabolisme*. Suhu yang hangat akan menyebabkan telur cacing tanah akan cepat menetas. Suhu yang baik adalah 15-25 °C. Selain itu faktor kelembaban tanah harus diperhatikan. Kelembaban tanah yang baik adalah 15-30%. Jika kelembaban tanah kurang dari ketentuan cacing akan kesusahan dalam membuat lubang yang merupakan akses untuk mencari makanan, kelembaban tubuh berkurang, dan akhirnya cacing akan mengering dan mati. Sebaliknya jika kelembaban tanah terlalu tinggi akan menyebabkan warna tubuh cacing menjadi pucat dan kesulitan bernapas lalu akhirnya mati (Sayuti, F., 1999).

2.2 Sensor Kelembaban Tanah LM393

Sensor kelembaban tanah LM393 adalah sensor pendeksi kelembaban tanah yang prinsip kerjanya adalah saat kondisi kelembaban tanah rendah sensor akan menunjukkan *high level output*. Sedangkan pada saat kelembaban tinggi sensor akan menunjukkan *low level output*. Saat kelembaban tanah berada pada nilai 0% maka sensor akan menghasilkan *output* 1023 (*high level output*), sedangkan pada saat

kelembaban tanah berada pada nilai 100% sensor akan menghasilkan *output* 485 (*low level output*) Sensor ini dapat bekerja pada media tanah dan media berair lainnya. Pada sensor ini terdapat *potensiometer* yang dapat mengatur sensitivitas sensor. Bentuk dari sensor kelembaban tanah LM393 dapat dilihat dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Bentuk *Soil Moisture* Sensor LM393 (Depok Instrument, 2000)

Sensor ini bekerja pada tegangan 3,3 V sampai 5V, dan memiliki *dual output, analog* dan *digital*. Dan menggunakan LM393 sebagai komponen inti. Soil moisture sensor memiliki range pengukuran 0-100% dan akurasi kelembaban relatif $\pm 3,5\%$ (Depok Instrument, 2000).

2.3 Sensor Suhu DI-WLM35TS

Sensor suhu DI-WLM35TS adalah sensor suhu tahan air yang menggunakan komponen utama yaitu LM35DZ. Sensor ini terkalibrasi dalam celcius. Sensor ini aman digunakan pada media yang memungkinkan terkena air karena dilapisi oleh 3 lapisan. Sensor ini dapat mendeteksi suhu 0-100°C dengan karakteristik 10mV pada output mewakili 1°C. Jika tegangan ouput 300mV berarti suhu adalah 30°C, jika tegangan ouput 230mV berarti suhu 23°C (Depok Instrument, 2012). Bentuk dari sensor DI-WLM35TS dapat dilihat dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Bentuk Sensor DI-WLM35TS (Depok Instrument, 2000)

Dalam praktiknya proses antarmuka sensor suhu DI-WLM35TS dapat dikatakan sederhana. Pada IC sensor DI-WLM35TS ini terdapat tiga buah pin kaki yaitu Vs, Vout dan pin ground. Dalam pengoperasiannya pin Vs dihubungkan dengan tegangan sumber sebesar antara 4 – 20 volt sementara pin Ground dihubungkan dengan ground dan pin Vout merupakan keluaran yang akan mengalirkan tegangan yang besarnya sesuai dengan suhu yang diterima sensor dari sekitar.

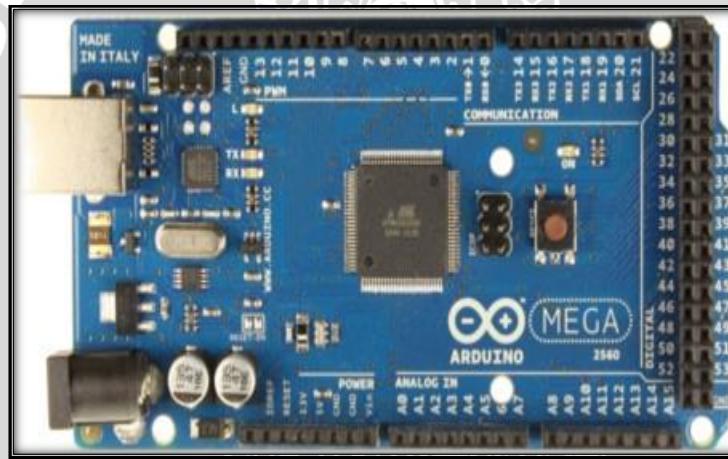
Prinsip kerja sensor ini adalah panas yang ditangkap oleh LM35DZ sebagai suhu yang akan diubah menjadi tegangan. Sedangkan proses berubahnya panas menjadi tegangan dikarenakan di dalam LM35DZ ini terdapat termistor berjenis *positive temperature coefficient* (PTC), dengan kata lain termistor inilah yang menangkap adanya perubahan panas. Prinsip kerja dari PTC ini adalah nilai resistansinya akan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu. Resistansi yang semakin besar tersebut akan menyebabkan tegangan output yang dihasilkan semakin besar.

2.4 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah merupakan *board* mikrokontroler berbasis ATMega 2560. Modul ini memiliki 54 digital *input/output*, 14 digunakan untuk PWM output dan 16 digunakan sebagai analog *input*, 4 untuk UART, 16 MHz osilator kristal,

koneksi USB, *power jack*, ICSP Header, dan tombol *reset*. Modul ini memiliki segalanya yang dibutuhkan untuk memrogram mikrokontroler seperti kabel USB dan sumber daya melalui Adaptor ataupun *battery*.

Dalam ilmu robotika Arduino Mega 2560 banyak digunakan oleh para pelajar dan pemula. Tapi tidak hanya pemula, profesional pun dapat dengan mudah mengembangkan aplikasi elektronik menggunakan Arduino. Bahasa yang dipakai dalam Arduino bukan Assembler yang relatif sulit, tetapi bahasa C++ yang disederhanakan dengan bantuan pustaka-pustaka (*libraries*) Arduino. Arduino juga menyederhanakan proses bekerja dengan mikrokontroler. Bentuk fisik Arduino Mega 2560 dapat dilihat dalam Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Bentuk fisik Arduino Mega 2560

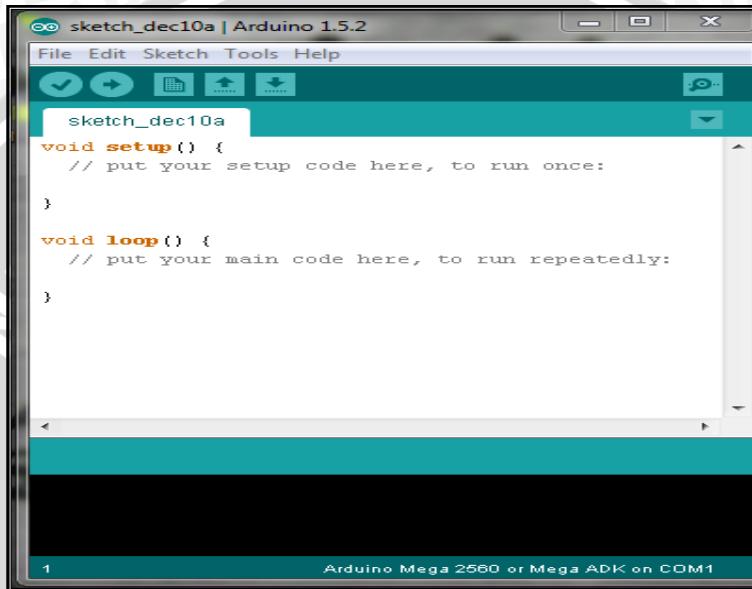
(<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>)

Sehubungan dengan pembahasan untuk saat ini *software* Arduino yang akan digunakan adalah *Driver* dan IDE, walaupun masih ada beberapa *software* lain yang sangat berguna selama pengembangan Arduino. IDE Arduino adalah *software* yang sangat canggih ditulis dengan menggunakan Java. IDE Arduino terdiri dari:

- *Editor* program, sebuah window yang memungkinkan pengguna menulis dan mengedit program dalam bahasa *Processing*.

- *Compiler*, sebuah modul yang mengubah kode program (bahasa Processing) menjadi kode biner.
- *Uploader*, sebuah modul yang memuat kode biner dari komputer ke dalam *memory* di dalam papan Arduino.

Tampilan *software* Arduino dapat dilihat dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Tampilan Software Arduino (dokumen Pribadi)

2.5 Kontroler

Kontroler merupakan salah satu komponen sistem yang berfungsi mengolah sinyal umpan balik dan sinyal referensi menjadi sinyal kontrol sedemikian rupa sehingga performansi dari sistem yang dikendalikannya sesuai dengan spesifikasi performansi yang diinginkan.

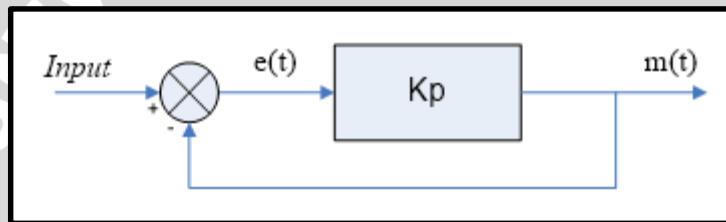
Keberadaan kontroler dalam sebuah sistem kendali mempunyai kontribusi yang besar terhadap perilaku sistem. Hal ini disebabkan oleh tidak dapat diubahnya komponen penyusun sistem tersebut. Artinya karakteristik *plant* harus diterima sebagaimana adanya, sehingga perubahan perilaku sistem hanya dapat dilakukan melalui penambahan suatu subsistem yaitu seperti kontroler. Prinsip kerja kontroler adalah membandingkan nilai aktual keluaran *plant* dengan nilai referensi, kemudian

menentukan nilai kesalahan dan akhirnya menghasilkan sinyal kontrol untuk meminimalkan kesalahan. Jenis – jenis kontroler (Ogata, K., 2002).

2.5.1 Kontroler Proporsional

Kontroler proporsional memiliki keluaran yang sebanding/proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan/*error*. Dapat dikatakan bahwa keluaran kontroler proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukannya. Perubahan sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengubah keluarannya sebesar konstanta pengalinya.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada blok diagram dalam Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Diagram Blok Kontroler Proporsional (Ogata, K., 2002)

Gambar 2.6 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara *input* (besaran yang diinginkan), besaran aktual dengan besaran keluaran kontroler proporsional, dan besaran kesalahan (*error*). Sinyal kesalahan (*error*) merupakan selisih antara besaran *setting* dengan besaran aktualnya.

Pada pengendali proporsional hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan $e(t)$ adalah sebagai berikut:

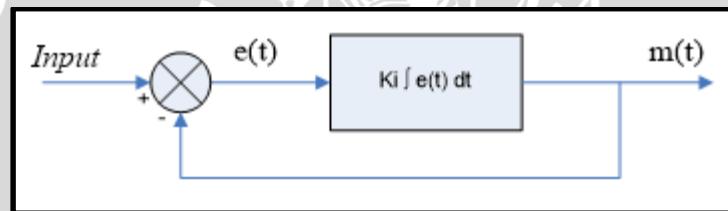
$$m(t) = K_p e(t) \quad (2-1)$$

Dengan K_p adalah penguatan proporsional, keluaran $m(t)$ hanya bergantung pada K_p dan *error*, semakin besar *error* maka semakin besar koreksi yang dilakukan. Penambahan K_p akan menaikkan penguatan sistem sehingga dapat digunakan untuk memperbesar kecepatan respon dan mengurangi kesalahan keadaan mantap.

2.5.2 Kontroler Integral

Kontroler integral berfungi mengurangi kesalahan keadaan mantap yang dihasilkan pada kontroler proporsional sebelumnya. Jika sebuah *plant* tidak memiliki unsur integrator ($1/s$), kontroler proporsional tidak mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantapnya nol.

Kontroler integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran kontroler sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran kontroler ini merupakan jumlah yang terus menerus dari perubahan masukanya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan. Gambar 2.7 menunjukkan blok diagram kontroler integral.



Gambar 2.7 Diagram Blok Kontroler Integral (Ogata, K., 2002)

Nilai keluaran kontroler $m(t)$ sebanding dengan integral sinyal kesalahan $e(t)$, sehingga didapatkan persamaan :

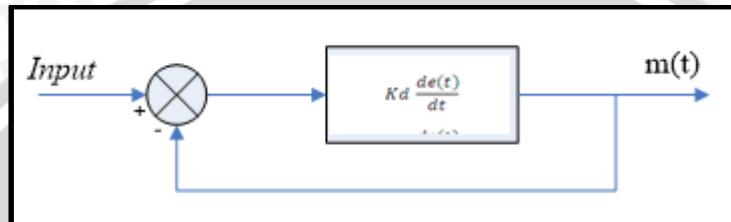
$$\frac{dm(t)}{dt} = Ki \cdot e(t) \quad (2-2)$$

$$m(t) = Ki \int_0^t e(t) dt \quad (2-3)$$

Dengan Ki adalah konstanta integral. Jika sinyal kesalahan $e(t)=0$, maka laju perubahan sinyal kendali integral $\frac{dm(t)}{dt} = 0$ atau sinyal keluaran kendali akan tetap berada pada nilai yang dicapai sebelumnya. Aksi kontrol integral digunakan untuk menghilangkan kesalahan posisi dalam keadaan mantap (*error steady state*) tanpa memperhitungkan kecepatan respon.

2.5.3 Kontroler Derivatif

Kontrol derivatif memiliki sifat seperti halnya suatu operasi derivatif/diferensial. Perubahan yang mendadak pada masukan kontroler, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Gambar 2.8 berikut menunjukkan blok diagram kontroler derivatif.



Gambar 2.8 Blok diagram kontroler derivatif (Ogata, K., 2002)

Nilai keluaran kontroler $m(t)$ sebanding laju sinyal kesalahan $\frac{de(t)}{dt}$. Hubungan ini dapat dituliskan sebagai:

$$m(t) = Kd \frac{de(t)}{dt} \quad (2-4)$$

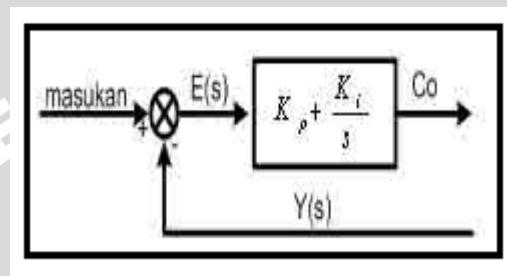
Kontroler derivatif akan memberikan sinyal kendali keluaran $m(t)=0$, untuk sinyal kesalahan $e(t)$ yang konstan sehingga kontroler derivatif tidak mempengaruhi keadaan mantap. Kontroler derivatif digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respon transien sebuah sistem serta dapat meredam osilasi.

Berdasarkan karakteristik kontroler tersebut, kontroler derivatif umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem, tetapi tidak memperkecil kesalahan pada keadaan tunaknya. Kerja kontroler derivatif hanyalah efek dari lingkup yang sempit, yaitu pada periode peralihan. Oleh sebab itu kontroler derivatif tidak bisa digunakan sendirian/tanpa kontroler lainnya.

2.5.4 Kontroler Proporsional Integral (PI)

Gabungan aksi kontrol proporsional dan aksi kontrol integral membentuk aksi kontrol proporsional plus integral (kontroler PI). Gabungan aksi ini mempunyai

keunggulan dibandingkan dengan masing-masing penyusunnya. Keunggulan utamanya adalah diperolehnya keuntungan dari masing-masing aksi kontrol dan kekurangan aksi kontrol yang satu dapat diatasi. Dengan kata lain elemen-elemen kontroler P dan I secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem dan menghilangkan offset. Diagram blok kontroler PI dapat dilihat dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Diagram Blok Kontroler PI (Ogata, K., 2002)

Aksi kontrol PI didefinisikan pada persamaan 2-5:

$$m(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (2-5)$$

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (2-6)$$

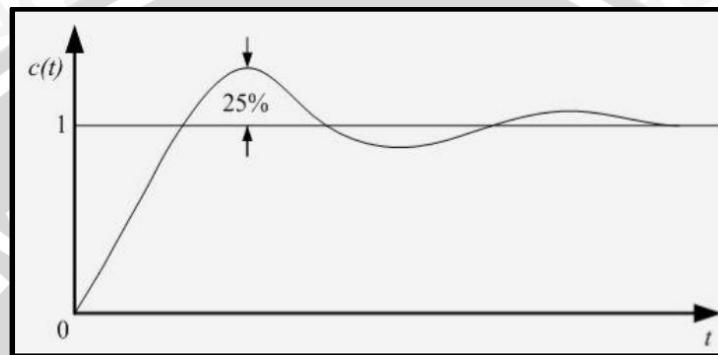
dengan T_i adalah waktu integral. Kebalikan dari T_i adalah laju reset. Laju reset adalah banyaknya pengulangan pada bagian proporsional dari aksi pengontrolan per menit.

2.5.5 Metode Kontrol Proporsional Integral (PI)

Metode yang digunakan dalam perancangan ini menggunakan metode *Ziegler-Nichols*. Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari gain proporsional K_p , dan waktu integral T_i berdasarkan karakteristik respon transien dari *plant* yang diberikan. Penentuan parameter kontrol PI atau penalaan

kontrol PI tersebut dapat dilakukan dengan berekspimen dengan *plant* (Ogata, K., 2002).

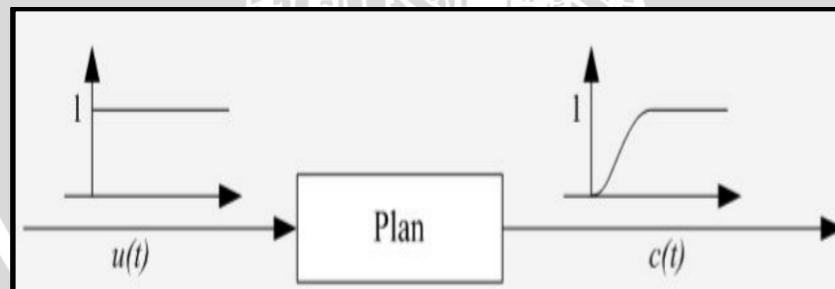
Terdapat dua metode yang disebut dengan aturan penalaan ZieglerNichols, pada kedua metode tersebut memiliki tujuan yang sama yaitu untuk mencapai 25% maximum overshoot pada respon *unit step*, ditunjukkan dalam Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Kurva Respon *Unit Step* yang Menunjukkan 25% Maximum Overshoot
(Ogata, K., 2002)

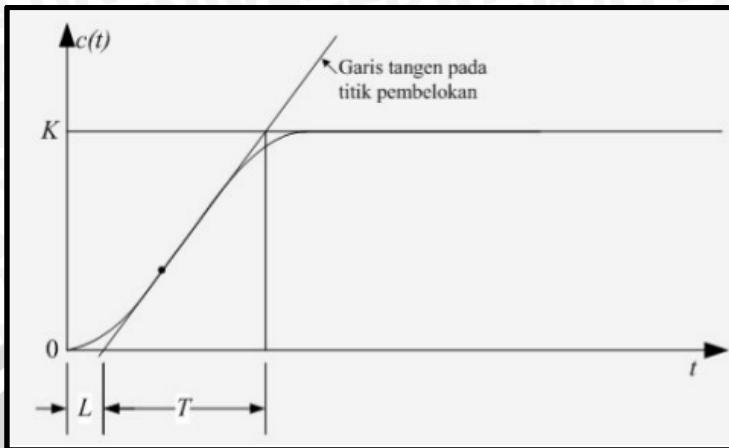
1. Metode Pertama

Metode pertama atau sering disebut metode kurva reaksi, respon dari *plant* dapat diperoleh secara eksperimental dengan masukan berupa *unit step*, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Respon *Plant* Terhadap Masukan Berupa *Unit Step* (Ogata, K., 2002)

Jika dalam *plant* tersebut terdapat *integrator* atau *dominan complex conjugate poles*, maka kurva respon *unit step* berbentuk seperti huruf S, seperti ditunjukkan dengan Gambar 2.12 jika respon tidak memberikan bentuk kurva S, maka metode ini tidak berlaku. (Ogata, K., 2002).



Gambar 2.12 Kurva Respon yang Berbentuk S (Ogata, K., 2002)

Kurva berbentuk S tersebut dapat dikarakteristikkan menjadi dua konstanta yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T . Waktu tunda dan konstanta waktu ditentukan dengan menggambar sebuah garis *tangent* pada titik pembelokan dari kurva S, dan menentukan perpotongan antara garis *tangent* dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t) = K$, seperti yang telah ditunjukkan dalam Gambar 2.12.

Fungsi alih $C(s)/U(s)$ dapat dilakukan pendekatan dengan sistem orde satu dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1} \quad (2-7)$$

Ziegler dan Nichols menyarankan untuk menentukan nilai-nilai dari K_p , T_i , dan T_d berdasarkan pada formula yang ditunjukkan dalam Tabel 2.1 (Ogata, K., 2002)

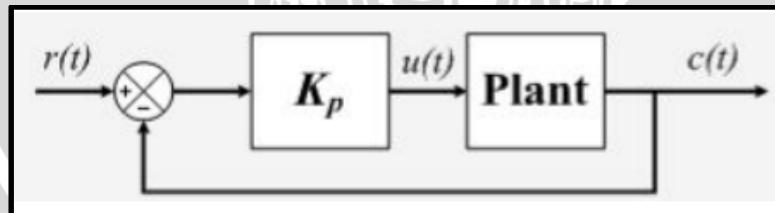
Tabel 2.1 Aturan Penalaan Ziegler-Nichols Berdasarkan Respon Unit Step dari Plant (Ogata, K., 2002)

Tipe Kontrol	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2\frac{T}{L}$	$2L$	$0,5 L$

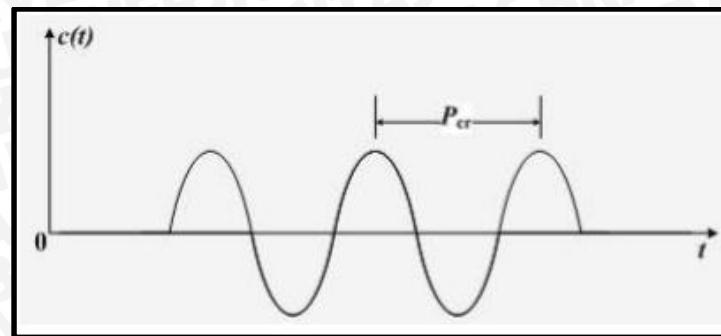
2. Metode Kedua

Dalam metode kedua *Ziegler-Nichols*, mula-mula yang dilakukan adalah membuat $T_i = \infty$ dan $T_d = 0$. Kemudian hanya dengan menggunakan tindakan kontrol proporsional, harga ditingkatkan dari nol ke suatu nilai kritis K_{cr} , disini mula-mula keluaran memiliki osilasi yang berkesinambungan (Jika keluaran tidak memiliki osilasi berkesinambungan untuk nilai K_p manapun yang telah diambil, maka metode ini tidak berlaku). Dari keluaran yang berosilasi secara berkesinambungan, penguatan kritis K_{cr} dan periode P_{cr} dapat ditentukan.

Diagram blok sistem loop tertutup dengan kontrol proporsional ditunjukkan dalam Gambar 2.13 dan untuk osilasi berkesinambungan dengan periode P_{cr} ditunjukkan dalam Gambar 2.14.



Gambar 2.13 Sistem Loop Tertutup dengan Kontrol Proporsional (Ogata, K., 2002)



Gambar 2.14 Osilasi Berkesinambungan dengan Periode P_{cr} (Ogata, K., 2002)

Ziegler dan Nichols menyarankan penyetelan nilai parameter K_p , T_i , dan T_d berdasarkan rumus yang telah diperlihatkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Aturan Dasar Ziegler-Nichols Berdasarkan *Critical Gain* (K_{cr}) dan *Critical Period* (P_{cr}) (Ogata, K., 2002)

Tipe Kontrol	K_p	T_i	T_d
P	0.5 K_{cr}	∞	0
PI	0.45 K_{cr}	$\frac{1}{1.2} P_{cr}$	0
PID	0.60 K_{cr}	0.5 P_{cr}	0.125 P_{cr}

2.5.6 Kontroler On/Off

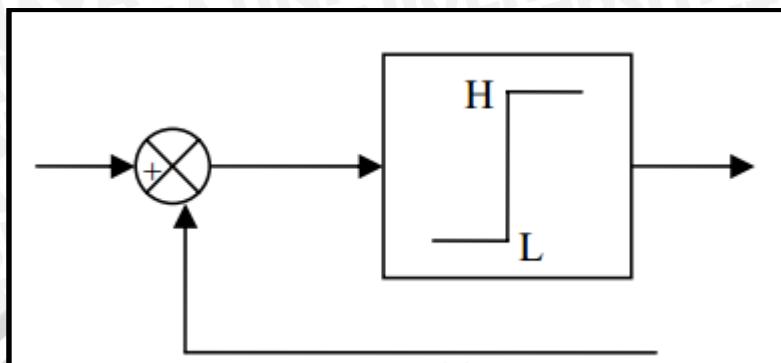
Kontroler *on/off* adalah kontroler yang memiliki dua posisi tetap, yaitu “*on*” berarti *high* dan “*off*” yang berarti *low*. Prinsip kerja kontroler ini adalah sinyal keluaran yang dihasilkan berubah-ubah pada dua keadaan yang tetap (berosilasi) maksimum atau minimum, bergantung pada kesalahan penggerak positif atau negatif. Karena karakteristik sinyal kontrol yang berisolasikan, menyebabkan variabel proses juga berisolasikan sekitar *setpoint* (Tooley, M., 2002).

Kontrol *on/off* memiliki fungsi yang dinyatakan oleh persamaan berikut :

$$u(t) = \begin{cases} U_{\max}, & \text{untuk } e(t) > 0 \\ U_{\min}, & \text{untuk } e(t) < 0 \end{cases} \quad (2-8)$$

Dengan $e(t)$ adalah sinyal *error* dan $u(t)$ adalah sinyal kontrol.

Diagram blok kontroler *on/off* dapat dilihat dalam Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Diagram Blok Kontroller *On/Off* (Tooley, M., 2002)

2.6 Pompa dan Motor *Direct Current* (DC)

Pompa adalah suatu alat atau mesin yang digunakan untuk memindahkan cairan dari suatu tempat ke tempat yang lain melalui suatu media perpipaan dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung secara terus menerus. Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk (*suction*) dengan bagian keluar (*discharge*). Dengan kata lain, pompa berfungsi mengubah tenaga mekanis dari suatu sumber tenaga (penggerak) menjadi tenaga kinetis (kecepatan), tenaga ini berguna untuk mengalirkan cairan dan mengatasi hambatan yang ada sepanjang pengaliran.

Motor DC merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya, memutar *impeller* pompa, *fan* atau *blower*, menggerakan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (*mixer*, bor listrik, *fan angin*) dan di industri. Prinsip kerja motor DC sesuai dengan hukum kemagnetan Lorenz, yaitu membangkitkan fluksi magnet pada suatu konduktor berarus dalam medan magnet sehingga timbul ggl induksi. Setiap arus yang mengalir melalui sebuah konduktor akan menimbulkan medan magnet (Fathurohim, M., 2010).

Metode *Pulse Width Modulation* (PWM) adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatur kecepatan dari motor DC. Kecepatan motor DC tergantung pada besarnya *duty cycle* yang diberikan pada motor DC tersebut. Pada sinyal PWM, frekuensi sinyal konstan sedangkan *duty cycle* bervariasi dari 0%-100%. Dengan mengatur *duty cycle* akan diperoleh keluaran yang diinginkan (Alfarisi, R., 2011).

2.6.1 Perhitungan *Duty Cycle* PWM

Dengan cara mengatur lebar pulsa “on” dan “off” dalam satu periода gelombang melalui pemberian besar sinyal referensi output dari suatu PWM akan didapat *duty cycle* yang diinginkan. *Duty cycle* dari PWM dapat dinyatakan sebagai:

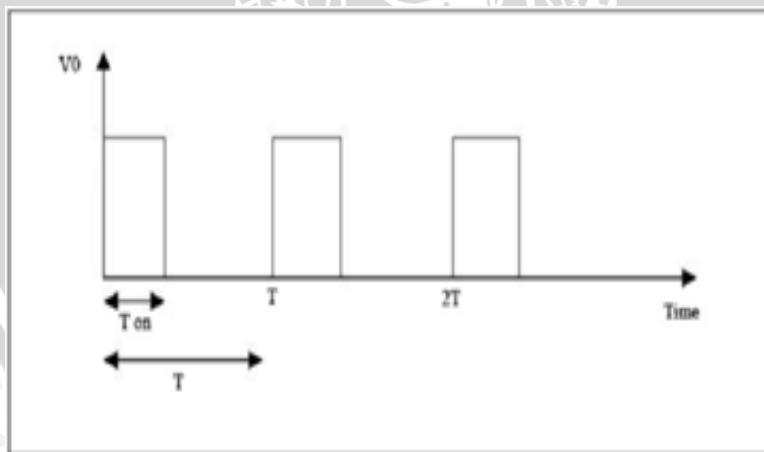
$$\text{Duty Cycle} = \frac{T_{on}}{T} \times 100\% \quad (2-9)$$

Dengan:

T_{on} = Periode logika tinggi

T = Periode keseluruhan

Skema sinyal PWM dapat dilihat dalam Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Sinyal PWM (electronics-scheme.com)

Duty cycle 100% berarti sinyal tegangan pengatur motor dilewatkan seluruhnya. Jika tegangan catu 100v, maka motor akan mendapatkan tegangan 100 V.

Pada *duty cycle* 50% tegangan pada motor hanya akan diberikan 50 % dari tegangan catu. Semakin besar T_{on} yang diberikan maka semakin besar pula tegangan yang diberikan terhadap motor.





BAB III

METODE PENELITIAN

Kajian dalam skripsi ini merupakan penelitian yang bersifat aplikasi pada perubahan suhu dan kelembaban, yaitu dengan merancang suatu pengendalian menggunakan kontroler PI yang bertujuan dapat mendapatkan performansi sistem yang diharapkan.

Langkah – langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang akan dibuat adalah sebagai berikut:

1. Perancangan dan realisasi pembuatan alat
2. Pengujian alat
3. Pengambilan kesimpulan

I 3.1 Realisasi Pembuatan Sistem

Untuk merealisasikan alat yang telah dirancang sebelumnya, tahapan - tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Penyempurnaan konstruksi alat pengendali suhu dan kelembaban pada media ternak cacing tanah menggunakan motor DC dan pompa sebagai pengendali suhu dan kelembaban.
2. Pembuatan rangkaian elektrik meliputi relay, dan rangkaian *driver* motor DC L298N.
3. Pembuatan dan penyelesaian *bahasa C++* pada *Arduino Compiler* untuk Arduino Mega 2560.

3.2 Pengujian dan Analisis Data

Setelah semua komponen pada alat sudah terhubung sesuai dengan diagram blok sistem yang telah dirancang dan program *software* sudah dibuat, maka diadakan pengujian dan analisis alat. Performansi sistem yang diinginkan dari pengendalian suhu

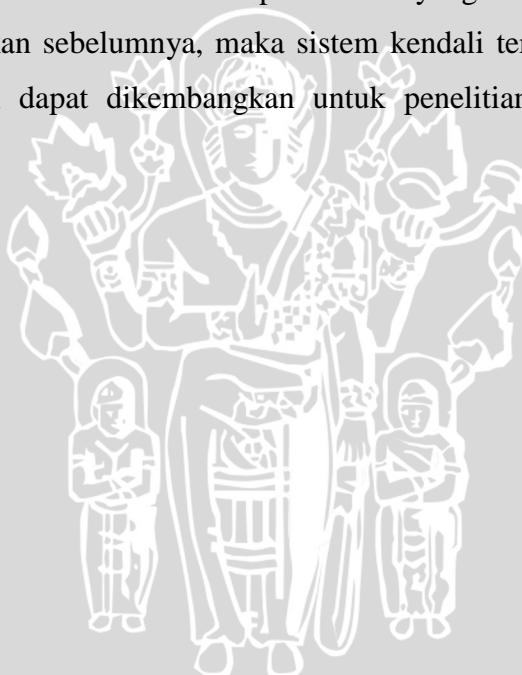
dan kelembaban ruang ini adalah respon sistem tanpa *overshoot* dengan *error steady state* seminimal mungkin.

Pengujian dan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Pengujian setiap blok rangkaian.
2. Penggabungan semua blok rangkaian menjadi sebuah sistem.
3. Pengujian alat secara keseluruhan.
4. Evaluasi dan analisis pengujian sistem yang didapat.

3.3 Pengambilan Kesimpulan

Kesimpulan serta saran dapat diambil berdasarkan data yang telah didapat dari hasil pengujian sistem secara keseluruhan. Apabila hasil yang telah didapatkan sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya, maka sistem kendali tersebut telah berhasil memenuhi harapan dan dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya untuk disempurnakan.



BAB IV

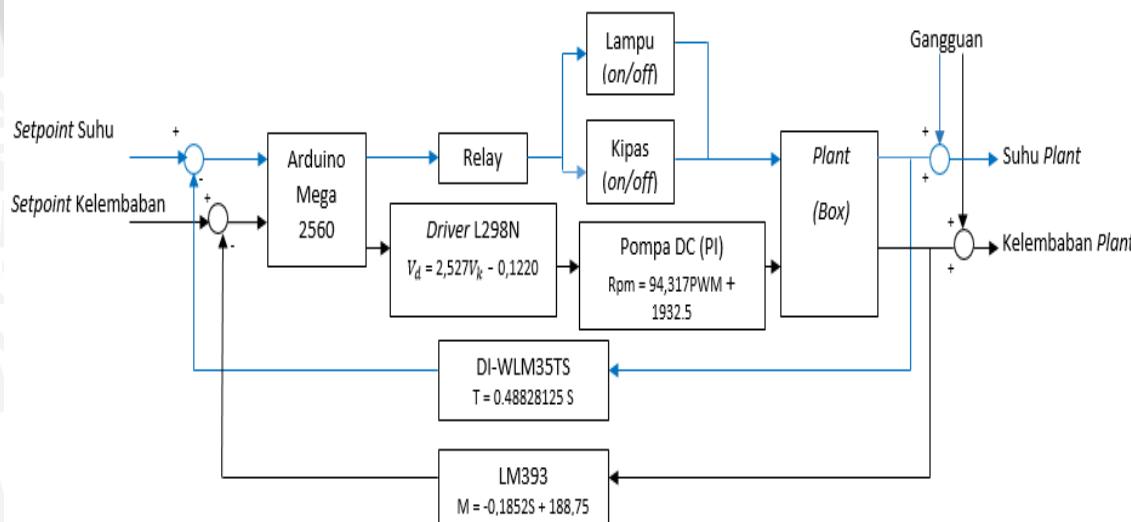
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perancangan dan pembuatan dalam skripsi ini bertujuan untuk merancang beberapa perangkat maupun alat secara keseluruhan. Perancangan perangkat tersebut meliputi perancangan perangkat keras maupun perancangan perangkat lunak. Sedangkan pembuatan bertujuan untuk menghasilkan semua perangkat pendukung maupun alat secara keseluruhan.

4.1 Perancangan Sistem

4.1.1 Diagram Blok Sistem

Pada perancangan alat diperlukan perancangan blok diagram sistem yang dapat menjelaskan sistem secara garis besar, yaitu Arduino Mega 2560 memberikan *input* kepada *driver* L298N dan relay untuk menggerakkan aktuator yang dipasang pada *box*. Sensor DI-WLM35TS dan LM393 berfungsi sebagai *feedback* suhu dan kelembaban pada *box*. *Feedback* diteruskan pada Arduino Mega 2560 untuk mengambil keputusan selanjutnya. Blok diagram tersebut dapat dilihat dalam Gambar 4.1 berikut.



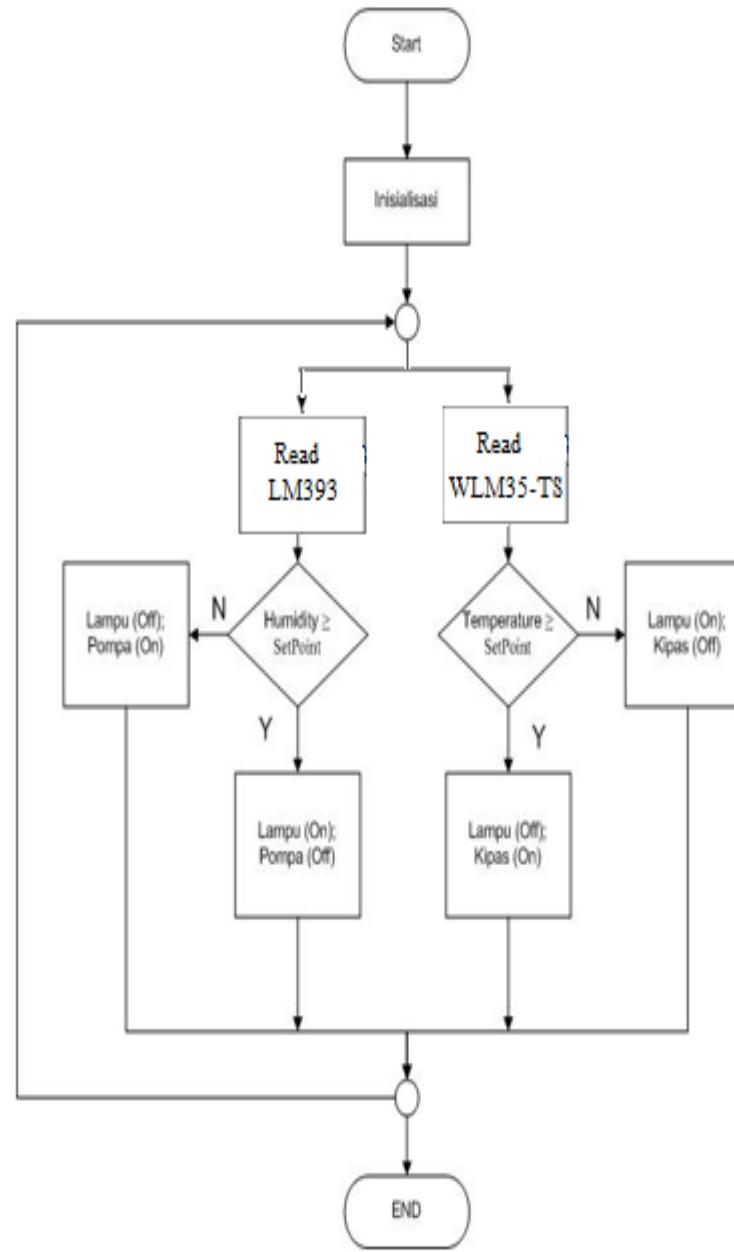
Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem

Keterangan dari blok diagram dalam Gambar 4.1 adalah sebagai berikut:

- *Set point* sistem berupa suhu dalam satuan °C, dan kelembaban dalam satuan %.
- Sensor untuk mengukur suhu adalah sensor suhu DI-WLM35TS, dan sensor kelembaban tanah yang digunakan adalah *soil moisture sensor* LM393. Kedua sensor ini menyalurkan *feedback* berupa data digital pada Arduino Mega 2560.
- Pusat pengendalian sistem menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang mengaktifkan driver L298N dan memberikan masukan berupa *Pulse Width Modulation* (PWM) pada pompa DC. Arduino Mega 2560 juga mengontrol relay untuk *on/off* pada lampu dan kipas .
- Pompa yang digunakan adalah pompa wiper (pompa kaca mobil). Pompa ini digunakan sebagai aktuator pada tanah media hidup cacing.
- Lampu yang digunakan adalah lampu pijar 20W sebanyak 4 buah.
- Kipas yang digunakan adalah kipas DC 12V sebanyak 3 buah.
- Gangguan *plant* suhu berupa bertambah atau berkurangnya suhu pada *plant*. Gangguan ini disebabkan karena perubahan suhu udara.
- Gangguan *plant* kelembaban berupa berkurangnya kelembaban tanah yang disebabkan oleh menguapnya air dalam tanah.

4.1.2 Flowchart Sistem

Dari diagram blok diatas maka dapat dibuat sebuah *flowchart*. *Flowchart* dibutuhkan dalam perancangan perangkat lunak dari alat yang dibuat. *Flowchart* dari alat ini dapat dilihat dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2 *Flowchart* Keseluruhan Sistem (Perancangan)

4.2 Prinsip Kerja Alat

Cara kerja alat adalah sebagai berikut:

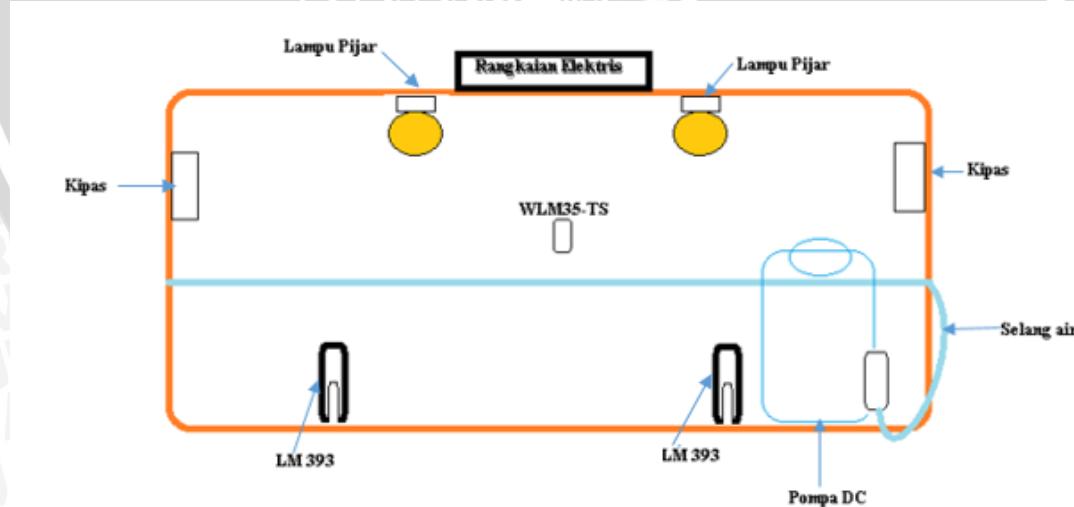
- Port komunikasi antara Arduino Mega 2560 dan PC menggunakan perantara kabel USB dengan kecepatan transfer data sebesar 9600 bps.
- Catu daya 12 Volt digunakan sebagai catu motor DC pada pompa air.
- DI-WLM35TS sebagai sensor suhu, dan LM393 sebagai sensor kelembaban tanah memberikan keluaran berupa data analog yang berubah – ubah sesuai dengan perubahan suhu dan kelembaban.
- Data analog yang masuk ke dalam mikrokontroler dikonversi ke dalam data digital kemudian diproses menjadi sinyal control berupa PWM.
- Sinyal kontrol dari Arduino Mega masuk ke *driver* L298N dan Relay. Driver L298N berfungsi menguatkan sinyal yang dihasilkan Arduino Mega dari 0-5 Volt menjadi 0-12 Volt sedangkan relay berfungsi sebagai saklar otomatis untuk menghidupi lampu, ketika dialiri tegangan 5V keluaran dari Arduino Mega.
- Motor DC pada pompa air yang terhubung pada tangki berisi air akan berputar ketika pembacaan sensor menunjukkan bahwa keadaan miniatur *box* terlalu kering dari *setpoint* 28%.
- Motor DC pada kipas akan berputar ketika pembacaan sensor menunjukkan bahwa keadaan miniatur *box* terlalu panas dari *setpoint* yaitu 23°C.
- Lampu akan menyala ketika pembacaan sensor menunjukkan bahwa keadaan miniatur *box* terlalu lembab dan terlalu dingin dari *setpoint* suhu 23°C .
- Dan keluaran sistem pengendalian suhu dan kelembaban dengan sensor DI-WLM35TS dan LM393 merupakan masukan bagi proses utama dalam pengendalian suhu dan kelembaban miniatur media hidup cacing tanah.

4.3 Spesifikasi Alat

Spesifikasi sistem pengendalian suhu dan kelembaban pada ruang ekstraksi adalah sebagai berikut :

- Rentang suhu yang dapat diproses adalah 0-100° Celcius.
- Miniatur media hidup cacing tanah berupa sebuah *box* berbahan *plastic* dengan lebar 28 cm, Panjang 35 cm, dan tinggi 30 cm.
- Tanah yang digunakan adalah tanah kebun yang merupakan media terbaik dalam budidaya cacing tanah.
- Sensor yang digunakan adalah DI-WLM35TS sebagai sensur suhu, dan *soil moisture sensor* LM393 sebagai sensor kelmbaban tanah. Sensor suhu mempunyai rentang suhu 0-100° Celcius, dan sensor kelembaban mempunyai rentang 0-100 %.
- Pengaturan suhu dan kelembaban miniatur media hidup cacing tanah ditentukan dengan motor DC dan motor DC pompa yang diatur melalui driver L298N oleh Arduino Mega 2560.
- Pusat pengendalian sistem adalah Arduino Mega 2560.

Skema perancangan sistem dapat dilihat dalam Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Desain Perancangan Alat

4.4 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Berdasarkan diagram blok perancangan alat yang telah disusun, perancangan perangkat keras meliputi perancangan rangkaian catu daya, rangkaian *driver* motor beserta pompa air dan kipas DC, dan rangkaian relay lampu. Di bawah ini adalah penjelasan masing-masing rangkaian penyusun keseluruhan alat.

4.4.1 Sensor DI-WLM35TS

Sensor DI-WLM35TS adalah sensor suhu yang diproduksi oleh Depok Instrument yang menggunakan komponen utama LM35 yang dilapisi oleh dua lapis lapisan khusus sehingga menyebabkan sensor ini tahan terhadap air. Dalam praktiknya proses antarmuka sensor LM35DZ dapat dikatakan sangat mudah. Pada IC sensor LM35DZ ini terdapat tiga buah pin yakni Vs, Vout dan pin ground. Dalam pengoperasiannya pin Vs dihubungkan dengan tegangan sumber sebesar antara 4 – 20 volt sementara pin Ground dihubungkan dengan ground dan pin Vout merupakan keluaran yang akan mengalirkan tegangan yang besarnya akan sesuai dengan suhu yang diterimanya dari sekitar.

4.4.2 *Driver* L298N

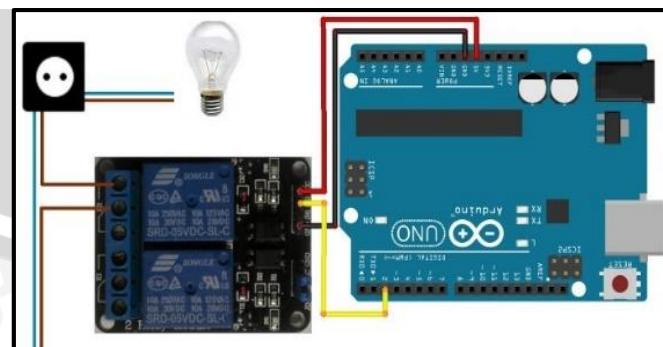
Modul pengendali motor DC digunakan untuk mengendalikan putaran motor DC yang menjadi penggerak pompa dan kipas DC. *Driver* ini dihubungkan dengan Arduino Mega. *Driver* pengendali pada perancangan ini menggunakan *driver* L298N yaitu sebuah perangkat keras berupa modul yang berfungsi untuk menggerakkan berbagai macam motor DC. Gambar modul *driver* motor L298N ditunjukkan dalam Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Driver L298N

4.4.3 Relay 2 Channel

Relay 2 Channel ini merupakan Relay 5V dengan 2 channel output. Dapat digunakan sebagai saklar elektronik untuk mengendalikan perangkat listrik yang memerlukan tegangan dan arus yang besar. Kompatible dengan semua mikrokontroler (khususnya Arduino, 8051, 8535, AVR, PIC, DSP, ARM, MSP430, TTL logic) maupun Raspberry Pi. Relay 2 Channel ini hanya memerlukan arus sebesar 15-20mA untuk mengontrol masing-masing channel. Disertai dengan relay high-current sehingga dapat menghubungkan perangkat dengan AC250V 10A. Konfigurasi relay 2 channel dengan lampu dapat dilihat dalam Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Konfigurasi Relay 2 Channel dengan Lampu

4.4.4 Motor DC

Pengendalian motor DC menggunakan rangkaian Arduino Mega sebagai pengolah dan memberikan data berupa *Pulse width Modulation* (PWM) agar motor dapat bergerak. Motor DC yang digunakan pada perancangan ini tidak diketahui karakteristiknya, sehingga yang perlu dilakukan adalah melakukan pengujian dengan menggunakan rangkaian *optocoupler*. Karakteristik motor DC pada perancangan ini didapatkan dengan cara memberi masukan unit *step*. Hasil kecepatan motor terhadap PWM ditunjukkan dalam Tabel 4.1.

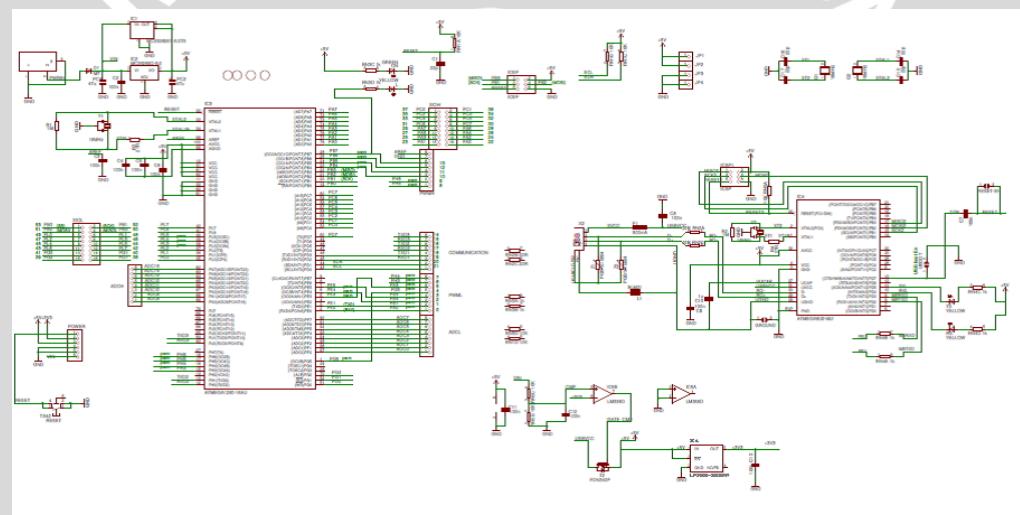
Tabel 4.1 Respon Kecepatan Motor Terhadap Sinyal PWM

No	PWM	Kecepatan (Rpm)
1	0	0
2	10	0
3	20	0
4	30	2870
5	40	5230
6	50	6910
7	60	8750
8	70	10310
9	80	11720
10	90	13050
11	100	13980
12	110	14780
13	120	15560
14	130	16170
15	140	16580
16	150	17100
17	160	17570
18	170	17870
19	180	18320
20	190	18600
21	200	18900

22	210	19300
23	220	19500

4.4.5 Modul Arduino Mega 2560

Pada skripsi ini digunakan Arduino Mega 2560 sebagai pengolah data dalam proses pengaturan pwm motor DC dan *on/off* relay sehingga dapat mengontrol kecepatan putaran motor DC pada pompa, kipas dan lampu dapat memberikan panas yang sesuai pada media hidup cacing tanah. Konfigurasi kaki I/O dari Arduino Mega 2560 ditunjukkan dalam Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Desain Sistem Arduino Mega 2560 (electronics-scheme.com)

Arduino Mega 2560 adalah merupakan *board* mikrokontroler berbasis ATMega 2560. Modul ini memiliki 54 digital *input/output* di mana 14 digunakan untuk *output* PWM dan 16 digunakan sebagai analog *input*, 4 untuk UART, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, *power jack*, *ICSP Header*, dan tombol reset.

Modul ini memiliki segalanya yang dibutuhkan untuk memprogram mikrokontroler seperti kabel USB dan sumber daya melalui Adaptor ataupun baterai. Pin masukan dan keluaran Arduino Mega 2560 pada perancangan ini akan difungsikan sesuai Tabel 4.2

Tabel 4.2 Fungsi Pin Arduino Mega

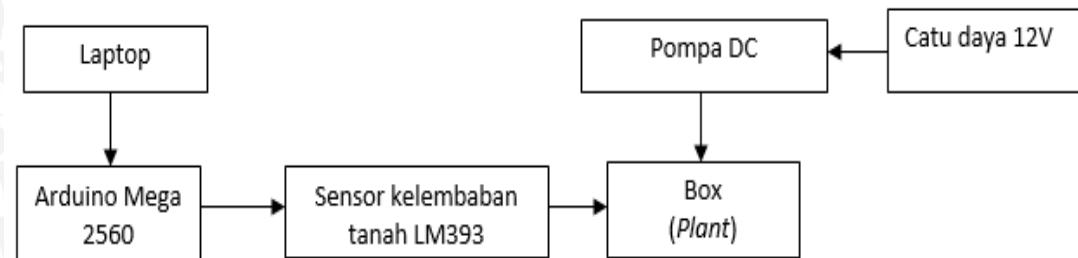
No.	Pin	Fungsi
1	A0	Output sensor LM393
2	A1	Output sensor DI-WLM35TS
3	P2	Enable driver pompa DC
4	5V	Catu tegangan sensor LM393 dan DI-WLM35TS
5	GND	Ground sensor LM393 dan DI-WLM35TS
6	COM15	Digunakan sebagai antar muka driver motor 1
7	COM16	Digunakan sebagai antar muka driver motor 1
8	COM17	Digunakan sebagai antar muka <i>driver</i> relay lampu
9	COM18	Digunakan sebagai antar muka <i>driver</i> relay kipas DC

4.5 Perancangan Kontroler

Untuk memenuhi tujuan performansi *loop* yang diinginkan, maka perlu ditambahkan kontroler pada sistem tersebut. Kontroler yang dipilih ialah Proporsional Integral (PI). Kontroler proporsional integral dipilih karena kontroler jenis ini adalah kontroler yang cocok untuk suatu sistem proses. Karakteristik *plant* tersebut membutuhkan kontrol yang cepat dan meminimalkan *overshoot* untuk dapat menghasilkan suhu dan kelembaban yang baik pada media hidup cacing tanah.

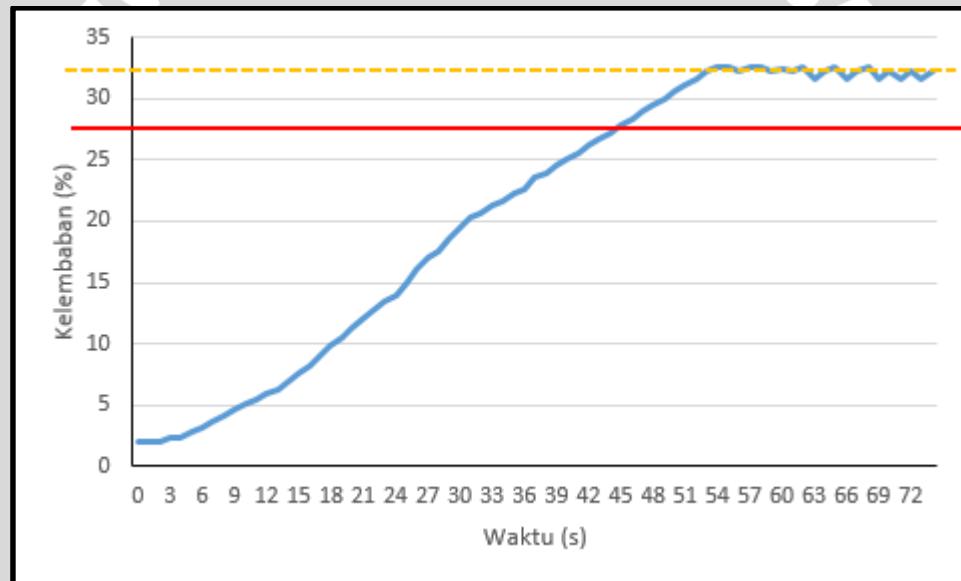
Dalam skripsi ini karakteristik plant kelembaban didapatkan dengan cara melakukan percobaan pada *plant* secara *open loop*. *Driver* diatur agar pada saat kelembaban kurang dari *setpoint* 28% pompa *on* dan pada saat suhu melebihi *setpoint*

pompa off . Rangkaian pengambilan data untuk mendapatkan kurva S ditunjukkan dalam Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Rangkaian Pengujian *Open Loop*

Grafik karakteristik respon kelembaban dapat dilihat dalam Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik Karakteristik Respon Kelembaban

Berdasarkan grafik karakteristik dalam Gambar 4.8 ketika driver dimatikan pada kelembaban 28% , kelembaban pada media hidup cacing tanah tetap naik sampai 32,5%. Perbedaan kelembaban adalah sebesar 4,5 %, dan waktu yang diperlukan alat tersebut untuk mencapai kelembaban 28% adalah 44 detik. Error yang terjadi dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (4-1) berikut.

$$\% Ess = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{PV - SP}{SP} \right| \times 100\% \quad (4-1)$$

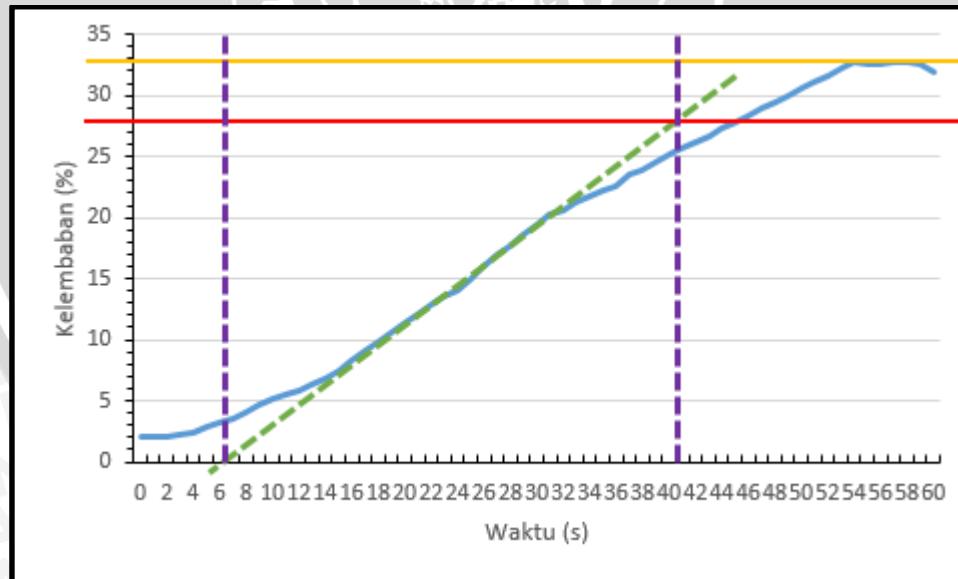
Dimana : % *Ess* = *Error steady state*

PV	= Present Value
SP	= Setpoint
N	= Jumlah data pada saat mencapai
<i>setpoint</i>	

% $Ess = 4,14\%$

Grafik *plant* dalam Gambar 4.8 menunjukkan bahwa bentuk kurva karakteristik *plant* menyerupai huruf S (*S-shaped curve*) sehingga dalam melakukan *tuning* parameter kontroler PI yaitu K_p , dan K_i dapat menggunakan metode *Ziegler-Nichols* pertama.

Setelah mendapatkan bentuk kurva S secara eksperimental kemudian dilakukan langkah untuk menentukan nilai L dan T seperti yang dalam Gambar 4.9 berikut:



Gambar 4.9 Metode 1 Ziegler-Nichols (Perancangan)

Langkah menentukan *tuning* parameter dengan metode 1 *Ziegler-Nichols* adalah sebagai berikut:

1. Menarik garis *tangent* pada titik infleksi grafik karakteristik *plant* seperti dalam Gambar 4.9.
2. Menentukan perpotongan garis *tangent* terhadap sumbu waktu *t* untuk mendapatkan nilai *L*.
3. Menentukan perpotongan garis *tangent* terhadap sumbu *steady* untuk mendapatkan nilai *T*.
4. Setelah mendapatkan nilai *L* dan *T* kemudian menentukan nilai *K_p*, dan *T_i* sesuai ketentuan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Aturan Metode 1 Ziegler-Nichols (Ogata K., 2004)

Tipe Kontrol	<i>K_p</i>	<i>T_i</i>	<i>Td</i>
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2\frac{T}{L}$	$2L$	$0,5 L$

Berdasarkan Gambar 4.9 diperoleh nilai *L* = 6 dan nilai *T* = 35 sehingga dapat diketahui:

$$K_p = 0,9 \frac{T}{L} = 0,9 \frac{35}{6} = 5,25$$

$$T_i = \frac{L}{0,3} = \frac{6}{0,3} = 20$$

Setelah mendapatkan nilai *T_i* maka selanjutnya mencari nilai *K_i* dengan cara

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{5,25}{20} = 0,2625$$

Sehingga telah didapatkan *K_p*, dan *K_i* melalui metode 1 *Ziegler-Nichols* sebesar *K_p* = 5,25 , dan *K_i* = 0,2625.



BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Tujuan dari pengujian dan analisis ini adalah untuk mengetahui apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Pengujian pada sistem ini meliputi pengujian setiap blok maupun pengujian secara keseluruhan. Pengujian setiap blok ini dilakukan untuk menemukan letak kesalahan dan mempermudah analisis pada sistem apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perancangan.

5.1 Pengujian Sensor Suhu DI-WLM35TS

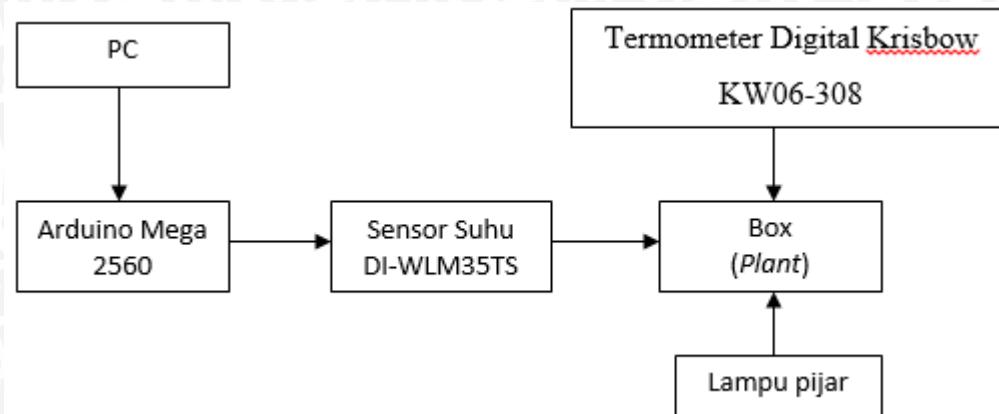
a. Tujuan

Tujuan dari pengujian sensor ini adalah untuk mengetahui apakah sensor ini dapat membaca suhu dengan baik dengan melihat hasil yang ditampilkan sensor terhadap perubahan suhu.

b. Peralatan yang Digunakan

- Sensor DI-WLM35TS
- Laptop
- Arduino Mega2560
- Box media hidup cacing tanah
- 4 Lampu masing-masing 20 watt
- Termometer Digital Krisbow KW06-308

Rangkaian pengujian sensor suhu DI-WLM35TS dapat dilihat dalam Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Rangkaian Pengujian Sensor DI-WLM35TS

c. **Langkah Pengujian**

1. Menyusun 4 lampu secara paralel pada bagian pemanas box.
2. Menghubungkan sensor dan resistor $4,7\text{k}\Omega$ dengan Arduino Mega 2560.
3. Menghubungkan steker yang terhubung dengan lampu pada tegangan PLN220V.
4. Memanaskan suhu ruang box dengan menyalaikan lampu.
5. Mengaktifkan *serial monitor* pada *software Arduino 1.0.6*
6. Mengamati dan mencatat setiap perubahan suhu berdasarkan suhu termometer sebagai acuan.

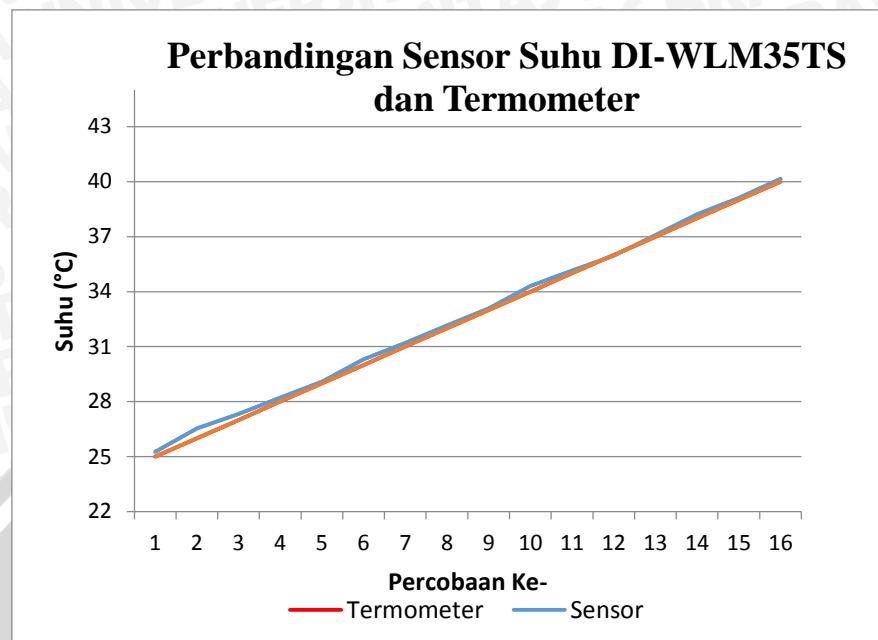
d. Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil dari pengujian dari sensor suhu DI-WLM35TS ditunjukkan dalam Tabel 5.1

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Sensor Suhu DI-WLM35TS

No	Termometer (°C)	Pengujian					Rata rata (°C)	Error (°C)
		1	2	3	4	5		
1	25	25,36	25,31	25,14	25,44	25,12	25,27	0,37
2	26	26,84	26,46	26,15	26,21	26,31	26,39	0,39
3	27	27,73	27,67	27,23	27,25	27,41	27,45	0,45
4	28	28,33	28,31	28,51	28,51	28,31	28,39	0,39
5	29	29,14	29,13	29,62	29,19	29,41	29,29	0,29
6	30	30,43	30,46	30,53	30,42	30,12	30,39	0,39
7	31	31,44	31,15	31,15	31,12	31,15	31,20	0,20
8	32	32,12	32,23	32,23	32,56	32,15	32,25	0,25
9	33	33,26	33,51	33,11	33,12	33,04	33,21	0,21
10	34	34,38	34,64	34,31	34,32	34,21	34,37	0,37
11	35	35,21	35,62	35,28	35,51	35,33	35,39	0,39
12	36	35,58	36,12	35,19	36,53	36,01	35,88	0,88
13	37	37,62	37,05	37,20	37,12	37,15	37,23	0,23
14	38	38,12	38,14	38,45	38,13	38,16	38,20	0,20
15	39	39,21	39,31	39,20	39,45	38,92	39,22	0,22
16	40	39,94	40,14	40,12	40,24	39,89	40,07	0,07
Rata rata error (°C)								0,33

Berdasarkan hasil pengujian dalam Tabel 5.1, rata-rata *error* antara suhu pembacaan termometer digital dengan suhu pembacaan *serial monitor* sangat kecil yaitu 0,331 °C. Grafik perbandingan suhu hasil pembacaan termometer acuan dengan *serial monitor* dapat dilihat dalam Gambar 5.2



Gambar 5.2 Grafik Hubungan Termometer dengan Sensor DI-WLM35TS

5.2 Pengujian Sensor Kelembaban Tanah LM393

a. Tujuan

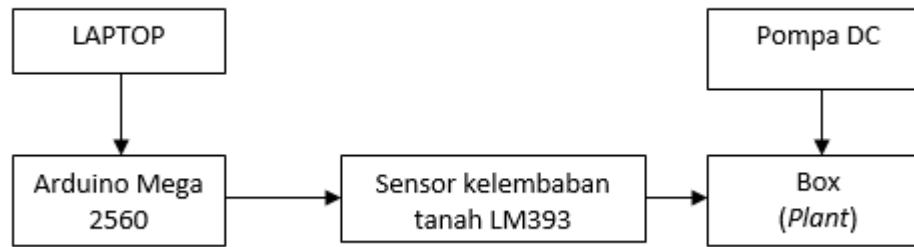
Tujuan dari pengujian sensor kelembaban tanah LM393 adalah untuk mengetahui apakah sensor ini dapat membaca kelembaban tanah dengan baik dengan melihat hasil yang ditampilkan sensor dengan perubahan kelembaban yang terjadi.

b. Peralatan dan Bahan yang Digunakan

- Sensor kelembaban tanah LM393
- Box media hidup cacing tanah
- Arduino Mega 2560
- Tanah Kebun
- Laptop

Gambar rangkaian pengujian sensor kelembaban tanah LM393 ditunjukkan dalam

Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Rangkaian Pengujian Sensor Kelembaban Tanah LM393

c. Langkah pengujian

1. Menghubungkan sensor dengan Arduino Mega 2560
2. Menancapkan sensor LM393 pada jenis tanah pertama
3. Menambahkan air sedikit demi sedikit
4. Mengaktifkan *serial monitor* pada *software* Arduino 1.0.6
5. Mengamati dan mencatat setiap perubahan tegangan output saat tanah ditambah dengan air dengan kuantitas yang berbeda
6. Membuat persamaan matematis sensor kelembaban tanah LM393.

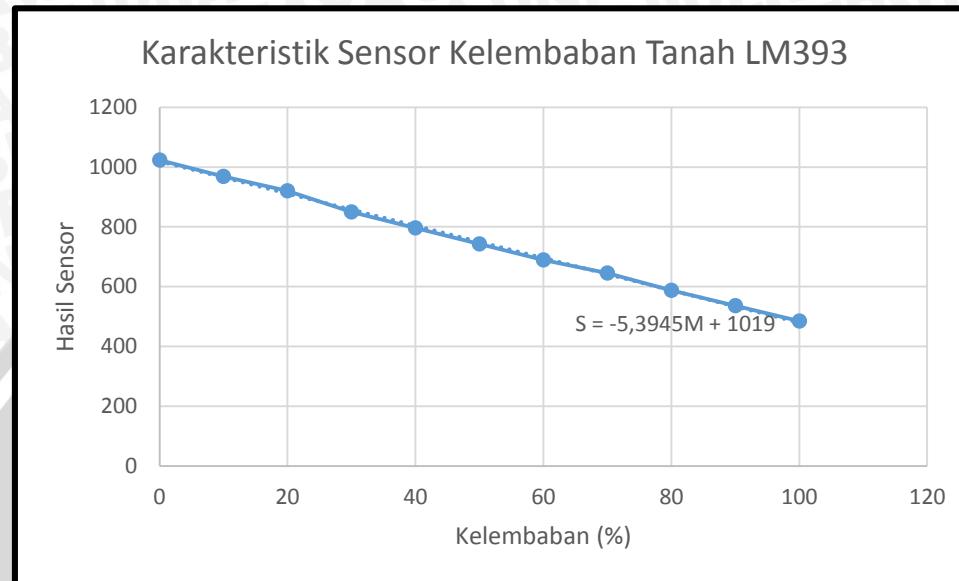
d. Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian dari sensor kelembaban LM393 dapat dilihat dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Sensor LM393

NO	Kelembaban (%)	Pembacaan Sensor
1	0	1023
2	10	968
3	20	920
4	30	850
5	40	796
6	50	743
7	60	689
8	70	645
9	80	587
10	90	536
11	100	485

Dari Tabel 5.2 maka dapat dibuat grafik karakteristik yang ditunjukkan pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Karakteristik Sensor Kelembaban Tanah LM393

Dari Gambar 5.4 maka didapatkan persamaan matematis yang ditunjukkan dalam persamaan 5-1.

$$S = -5,3945M + 1019 \quad (5-1)$$

Dimana : S = Hasil pembacaan sensor
 M = Kelembaban Tanah

Setelah, pengujian sensor kelembaban tanah LM393 dilakukan maka diketahui bahwa nilai tegangan keluaran sensor semakin kecil seiring bertambahnya porsi air yang diberikan. Hal ini menjelaskan karakteristik sensor yang mengeluarkan *low level output* saat kelembaban bertambah.

5.3 Pengujian *Driver L298N*

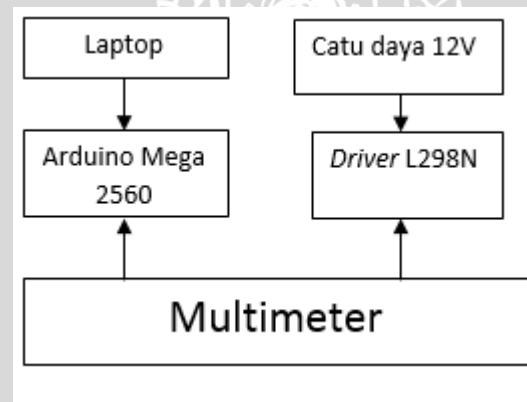
a. Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dan respon dari rangkaian *driver* pengendali motor *driver* L298N dengan membandingkan dan menguji tegangan keluaran Arduino Mega dengan tegangan keluaran *driver* L298N.

b. Peralatan yang Digunakan

- *Driver L298N*
- Multimeter
- Arduino Mega

Rangkaian pengujian *driver* L298N ditunjukkan dalam Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Rangkaian Pengujian *Driver Motor DC L298N*

c. Langkah Pengujian

1. Menghubungkan masukan *driver* L298N ke Arduino Mega.
2. Menghubungkan keluaran *driver* L298N ke *Digital Multimeter*.
3. Arduino Mega memberikan instruksi sinyal masukan pada pin PWM *driver* L298N dengan sinyal PWM 0-255.
4. Pengujian terhadap tegangan keluaran Arduino Mega dan *driver* L298N dilakukan secara bergantian.
5. Mencatat hasil perbandingan antara tegangan keluaran Arduino Mega dan *driver* L298N.

d. Hasil Pengujian dan Analisis

Besar perbandingan antara tegangan keluaran kontroler dengan tegangan keluaran *driver* L298N dapat dilihat dalam Tabel 5.3.

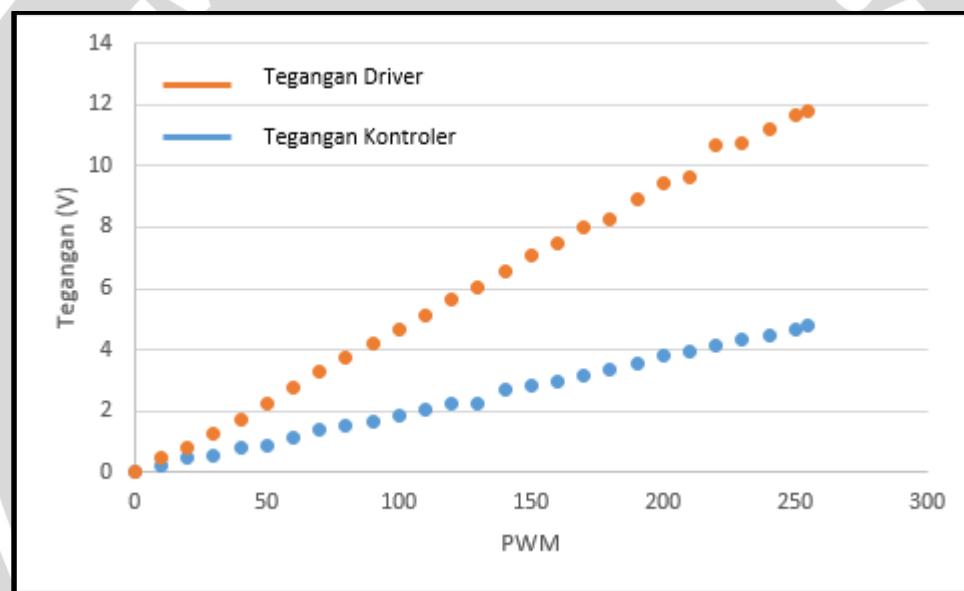
Tabel 5.3 Hasil Pengujian *Driver* L298N

No	PWM	Tegangan Kontroler (Volt)	Tegangan <i>Driver</i> L298N (Volt)
1	0	0	0
2	10	0.24	0.46
3	20	0.46	0.83
4	30	0.58	1.26
5	40	0.76	1.75
6	50	0.95	2.22
7	60	1.13	2.75
8	70	1.30	3.32
9	80	1.51	3.75
10	90	1.67	4.21
11	100	1.88	4.65
12	110	2.05	5.12
13	120	2.24	5.64
14	130	2.43	6.05
15	140	2.62	6.56
16	150	2.81	7.06
17	160	2.99	7.46
18	170	3.17	7.97
19	180	3.35	8.27
20	190	3.55	8.88
21	200	3.73	9.43
22	210	3.90	9.61
23	220	4.10	10.67
24	230	4.29	10.73
25	240	4.45	11.21

26	250	4.64	11.67
27	255	4.77	11.77

Berdasarkan Tabel 5.3 pengujian ini menunjukkan bahwa keluaran tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian driver motor L298N sesuai dengan yang dibutuhkan oleh motor pompa DC dan kipas DC. Sehingga dapat disimpulkan driver motor L298N dapat bekerja dengan baik.

Grafik hubungan antara tegangan keluaran Arduino Mega dan *driver* L298N dapat dilihat dalam Gambar 5.6.



**Gambar 5.6 Grafik Perbandingan tegangan keluaran
Arduino Mega 2560 dan driver L298N**

Dari grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 5.6 diketahui bahwa, baik tegangan keluaran pada Arduino Mega 2560 dan *driver* L298N menunjukkan bahwa semakin besar sinyal PWM yang diberikan maka akan semakin besar pula tegangan yang dikeluarkan. Hal ini menunjukkan bahwa *driver* bekerja dengan baik. Persamaan karakteristik dari *driver* motor DC L298N dan Arduino Mega 2560 ditunjukkan dalam persamaan (5-2) dan (5-3).

$$V_d = 0,047 \text{ PWM} - 0,0538 \quad (5-2)$$

$$V_k = 0,0186 \text{ PWM} + 0,027 \quad (5-3)$$

Dari persamaan (5-2) dan (5-3) jika disubtitusikan akan menghasilkan persamaan penguatan dari driver L298N yang ditunjukkan dalam persamaan (5-4).

$$V_d = 2,527V_k - 0,1220 \quad (5-4)$$

Dimana : V_d = Tegangan *output driver* motor DC L298N

V_k = Tegangan *output* Arduino Mega 2560

PWM= *Pulse width modullation*

5.4 Pengujian Pompa DC

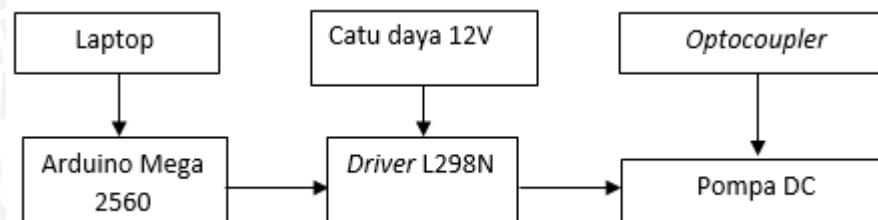
a. Tujuan

Pengujian pompa dc ini adalah untuk mengetahui apakah pompa DC dapat bekerja dengan baik, dengan membandingkan kecepatan (Rpm) sesuai dengan perubahan PWM yang diberikan.

b. Peralatan yang Digunakan

- Arduino Mega 2560
- Rangkaian Optocoupler
- Driver L298N
- Laptop

Rangkaian pengujian pompa DC dapat dilihat dalam Gambar 5.7.



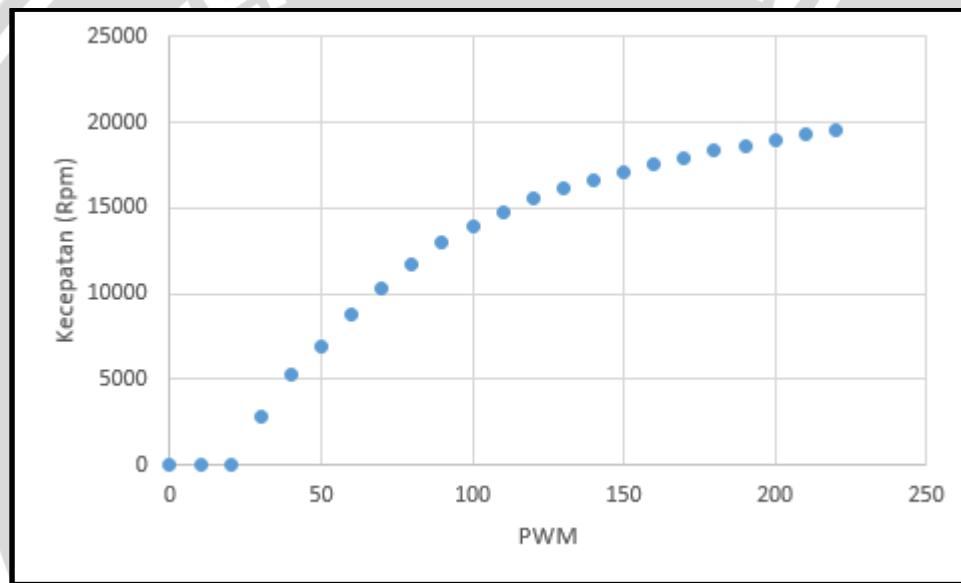
Gambar 5.7 Rangkaian Pengujian Pompa DC

c. Langkah Pengujian

1. Menyambungkan motor pada pompa DC dengan rangkaian *optocoupler* dan *driver L298N*.
2. Arduino Mega memberikan instruksi sinyal masukan pada pin PWM *driver L298N* dengan sinyal PWM 0-255.
3. Mencatat kecepatan motor yang dihasilkan sesuai dengan PWM yang diberikan.

d. Hasil pengujian dan Analisis

Hasil kecepatan motor terhadap PWM ditunjukkan dalam Gambar 5.8



Gambar 5.8 Grafik Karakteristik Motor DC (Perancangan)

Dari Gambar 5.8 didapatkan persamaan penguatan PWM terhadap kecepatan motor DC yang ditunjukkan dalam persamaan (5-5).

$$\text{Rpm} = 94,317 \text{PWM} + 1932,5 \quad (5-5)$$

Dimana : Rpm = Kecepatan pompa DC
PWM = Pulse width modullation

Maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar PWM yang diberikan akan menyebabkan semakin besar pula kecepatan motor DC. Hal ini membuktikan bahwa motor DC bekerja dengan baik.

5.5 Pengujian Sistem Keseluruhan

a. Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon sistem secara *close loop* dengan memberikan gangguan sementara

b. Peralatan yang Digunakan

- Catu daya 5V
- Catu daya 12V
- Arduino Mega 2560
- Laptop
- Program software Arduino
- Miniatur media hidup cacing tanah desain sendiri
- Sensor kelembaban tanah LM393
- Sensor suhu DI-WLM35TS
- Driver motor L298N
- Relay

c. Langkah Pengujian

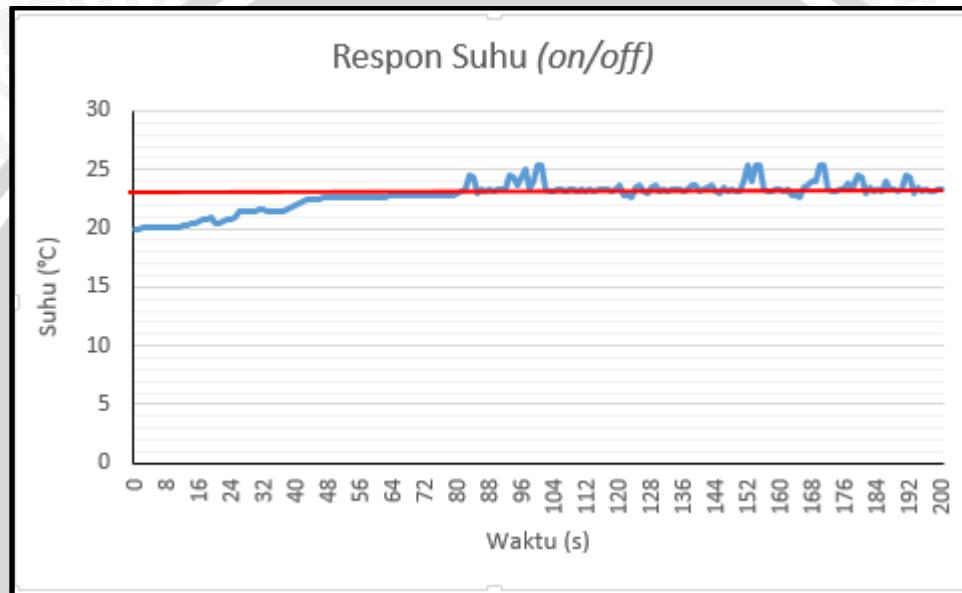
1. Menyusun rangkaian.
2. Membuat program *on/off* pada *plant* suhu.
3. Mengunduh program arduino 1.0.6 dengan masukan nilai $K_p = 5,25$, dan $K_i=0,2625$ pada *program* untuk sistem kelembaban.
4. Mengamati keluaran suhu dan kelembaban pada *serial monitor*.
5. Mencatat keluaran suhu dan keluran kelembaban pada *serial monitor* dan menjadikan grafik terhadap waktu.

d. Hasil Pengujian dan Analisis

a. Pengujian Plant Suhu

Dalam pengujian sistem suhu dilakukan pengujian sebanyak 2 kali. Pada pengujian ini didapatkan respon yang ditunjukkan dalam Gambar 5.9 dan Gambar 5.10.

Respon suhu pengujian pertama dapat dilihat dalam Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Grafik Respon Suhu Metode on/off (Percobaan Pertama)

Berdasarkan hasil pengujian dalam Gambar 5.9 grafik respon plant suhu, diperoleh kinerja sistem antara lain:

1. t_u (waktu tunda) yaitu waktu ketika suhu belum naik karena pemanas masih dalam proses pemanasan. t_u berdasarkan pengujian adalah 14 detik.
2. t_s (settling time) yaitu waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai akhir ketika *steady*. t_s berdasarkan pengujian adalah 82 detik. *Settling time* didapat ketika suhu telah mencapai 23°C.
3. *Error steady state* adalah nilai kesalahan saat respon telah mencapai pada keadaan tunak / *steady*. Persentase kesalahan dapat dicari dengan menggunakan persamaan (5-6) (Mahesta C., 2014).

$$\%E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|PV - SP|}{SP} \times 100 \% \quad (5-6)$$

Dimana : E = Error

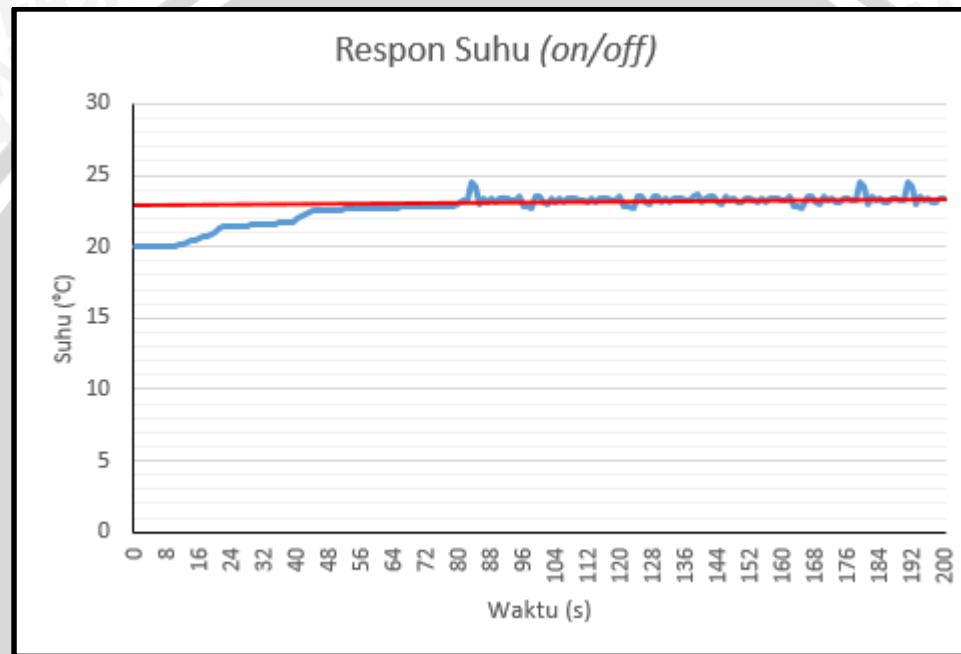
N = Jumlah data saat mencapai *setpoint*

PV = *Present value*

SP = *Setpoint*

$$\%E = \frac{1}{81} \times 1,047957 \times 100\% \\ = 1,293733\%$$

Hasil percobaan kedua dapat dilihat dalam Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Grafik Respon Suhu Metode *on/off* (Percobaan Kedua)

Berdasarkan hasil pengujian dalam Gambar 5.10 grafik respon plant suhu, diperoleh kinerja sistem antara lain:

1. t_u (waktu tunda) yaitu waktu ketika suhu belum naik karena pemanas masih dalam proses pemanasan. t_u berdasarkan pengujian adalah 11 detik.
2. t_s (*settling time*) yaitu waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai akhir ketika *steady*. t_s berdasarkan pengujian adalah 80 detik. *Settling time* didapat ketika suhu telah mencapai 23°C.

3. *Error steady state* adalah nilai kesalahan saat respon telah mencapai pada keadaan tunak / *steady*. Persentase kesalahan dapat dicari dengan menggunakan persamaan 5-2.

$$\%E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{|PV - SP|}{SP} \times 100 \%$$

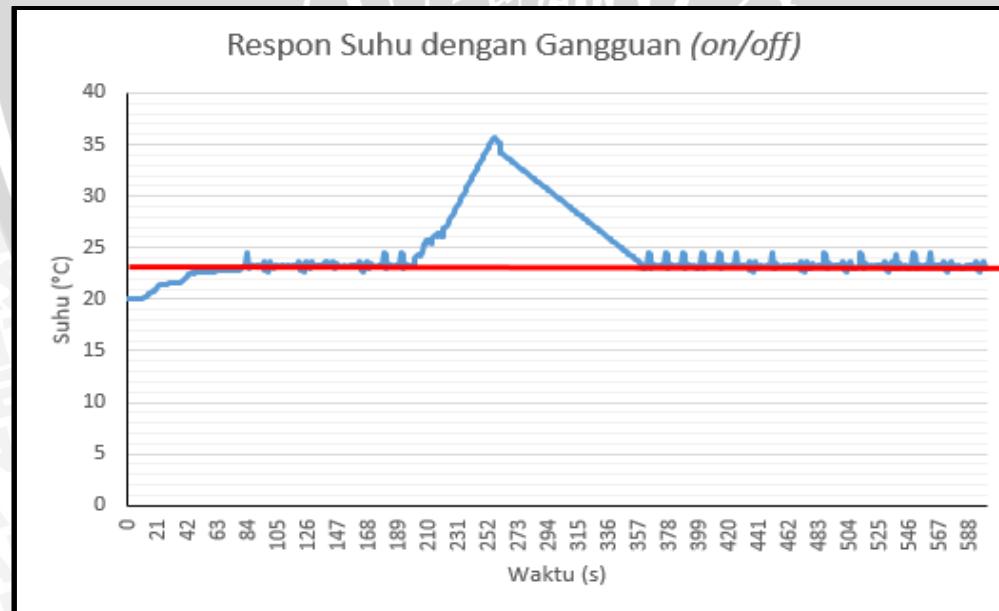
$$\%E = \frac{1}{80} \times 1,013802 \times 100\%$$

$$\%E = 1,267252\%$$

Dimana n adalah jumlah data ketika telah mencapai *setpoint*, PV adalah *present value*, dan SP adalah *setpoint*.

b. Pengujian Plant Suhu dengan Gangguan

Setelah mendapatkan respon dari plant suhu, selanjutnya pada plant diberikan gangguan. Gangguan ini dilakukan dengan cara memberikan panas dari *hair dryer* pada *box*. Hasil dari sistem dengan gangguan dapat dilihat dalam Gambar 5.11 .



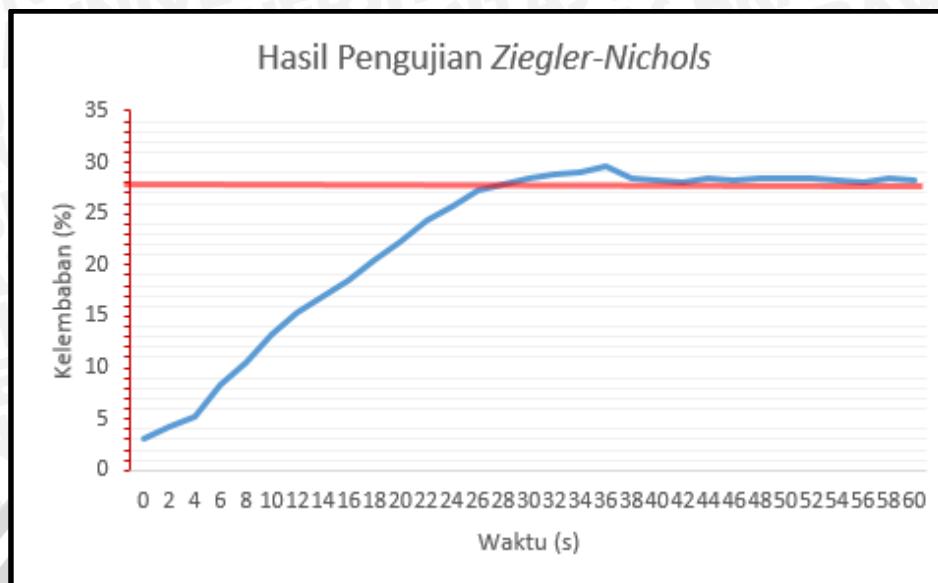
Gambar 5.11 Grafik Respon Suhu Metode on/off dengan Gangguan

Dari grafik hasil pengujian, dapat dilihat respon sistem terhadap gangguan berupa pemberian panas melalui *hair dryer*. Sistem dapat kembali dalam keadaan *steady state* setelah terjadinya gangguan dan mengalami proses *recovery time* sebesar 109 detik. Dengan begitu dapat dikatakan sistem kontrol pada perancangan ini telah bekerja dengan baik.



c. Pengujian Plant Kelembaban

Setelah melakukan prosedur pengujian didapatkan hasil respon plant kelembaban yang dapat dilihat dalam Gambar 5.12 .



Gambar 5.12. Respon Kelembaban Metode Kontroler PI

Berdasarkan hasil pengujian dalam Gambar 5.12 grafik respon plant kelembaban, diperoleh kinerja sistem antara lain:

1. t_u (waktu tunda) yaitu waktu ketika kelembaban belum naik karena air masih belum terjatuh ketanah. t_u berdasarkan pengujian adalah 2 detik.
2. t_s (*settling time*) yaitu waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai akhir ketika *steady*. t_s berdasarkan pengujian adalah 26 detik. *Settling time* didapat ketika elembaban telah mencapai 28%.
3. *Error steady state* adalah nilai kesalahan saat respon telah mencapai pada keadaan tunak / *steady*. Persentase kesalahan dapat dicari dengan menggunakan persamaan dibawah:

$$\begin{aligned} \text{c. } \% Ess &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{|PV - SP|}{SP} \times 100\% \\ &= \frac{1}{52} \times 1,017120536 \times 100\% \end{aligned}$$

$$\text{d. } = 2,06 \%$$

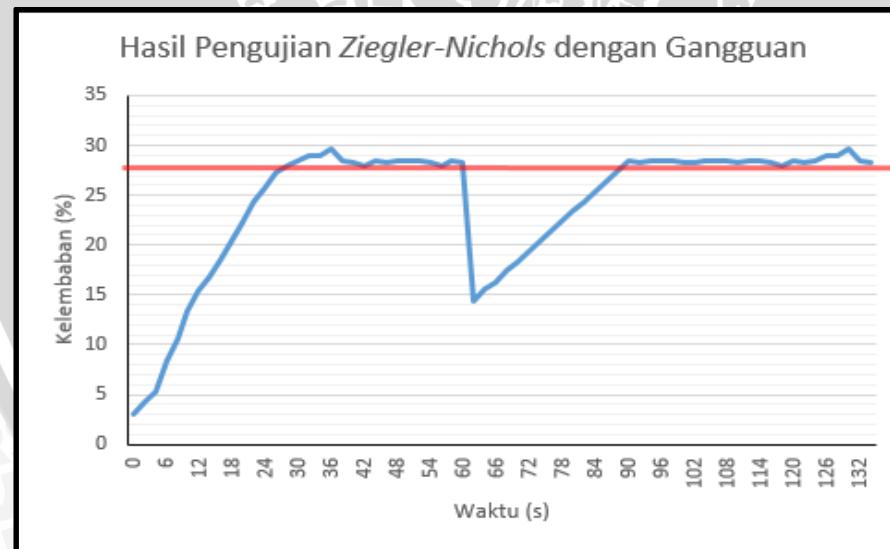
Dimana n adalah jumlah data ketika telah mencapai *setpoint*, PV adalah *present value*, dan SP adalah *setpoint*.

Dari hasil yang didapat dapat disimpulkan bahwa saat sistem diberikan kontroler PI *settling time* lebih kecil, dan meminimalkan *offset*. Pada saat melakukan percobaan secara *open loop*, *settling time* yang didapatkan adalah 44 detik, sedangkan pada saat menggunakan metode PI *settling time* yang didapat adalah 26 detik. Hal ini menunjukkan salah kelebihan dari kontroler PI yaitu mempercepat respon sistem.

Pada saat menggunakan metode *open loop*, *maximum overshoot* mencapai kelembaban 32,5% satuan kelembaban, sedangkan pada saat menggunakan metode PI *maximum overshoot* hanya mencapai kelembaban 29%. *Error steady state* pada saat *open loop* sebesar 4,14% sedangkan pada saat diberi kontroler PI sebesar 2,06%. Hal ini membuktikan bahwa kontroler PI meminimalkan *offset*.

d. Pengujian *Plant* kelembaban dengan Gangguan

Setelah melakukan pengujian *plant* kelembaban selanjutnya dilakukan pengujian dengan menambahkan gangguan. Hasil respon *plant* kelembaban dengan gangguan ditunjukkan dalam Gambar 5.13.



Gambar 5.13. Respon Kelembaban Metode PI dengan Gangguan

Dari grafik dalam Gambar 5.13 respon sistem terhadap gangguan dengan menambahkan tanah yang mempunyai kelembaban yang lebih rendah. Sistem dapat

kembali pada *steady state* dengan *recovery time* sebesar 27 detik. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa sistem kontrol dapat bekerja dengan baik.





BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Dari perancangan, pengujian dan pengamatan yang telah dilakukan pada penelitian sistem pengendalian suhu dan kelembaban maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hardware yang digunakan adalah *box* miniatur rancangan sendiri, Arduino Mega 2560, pompa DC, lampu, sensor suhu DI-WLM35TS, sensor kelembaban tanah LM393, *driver* L298N, dan relay. Software yang digunakan adalah Arduino 1.0.6 yang berfungsi memberikan perintah kepada hardware yang ada agar alat berfungsi sesuai dengan yang diinginkan.
2. Dengan menggunakan metode 1 *Ziegler-Nichols* untuk menentukan nilai parameter kontroler PI, maka didapatkan nilai $K_p = 5,25$, dan $K_i=0,2625$. Setelah diimplementasikan, sistem dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan. %Ess yang didapat sebesar 2,06%.
3. Setelah sistem diberi kontroler PI, maka didapatkan respon sistem lebih cepat daripada *open loop*, yaitu pada saat *open loop settling time* sebesar 44 detik menjadi 28 detik saat diberi kontroler PI. Pada saat *open loop overshoot* sebesar 16,07%, sedangkan pada saat menggunakan metode PI *overshoot* menjadi sebesar 5,35%. *Error steady state* pada saat *open loop* sebesar 4,14% sedangkan pada saat diberi kontroler PI sebesar 2,06%. Hal ini membuktikan bahwa kontroler PI mempercepat respon sistem dan mengurangi *error*.





6.2 Saran

Dalam pembuatan alat ini disadari bahwa masih memiliki beberapa kekurangan antara lain:

1. Disarankan menggunakan jumlah sensor kelembaban yang lebih banyak agar dapat membaca perubahan kelembaban secara merata.
2. Disarankan menggunakan aktuator yang lebih baik lagi agar perubahan suhu dan kelembaban *plant* lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Ogata, K. 2004. *System Dinamics 4th edition*. New York : Prentice-Hall, Inc.
- Ogata, K. 2002. *Modern Control Engineering*. New Jersey : Prentice-Hall, Inc.
- Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Pitawarno, E. 2006. *Desain Kontrol dan Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta: CV Andi Offset.
- Budiarti, A., Palungkun, R. 1992. *Cacing Tanah*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Hardjowigeno, S. 2003. *Ilmu Tanah*. Jakarta: Akademika Pressindo.
- Sayuti, F. 1999. *Pedoman Praktis Budidaya Cacing Tanah*. Bandung: Pusat Latihan Dan Pengembangan.
- Curtis D., Johnson. 1997. *Process Control Instrumentation Technology Fifth Edition*. New York: Prentice-Hall, Inc.





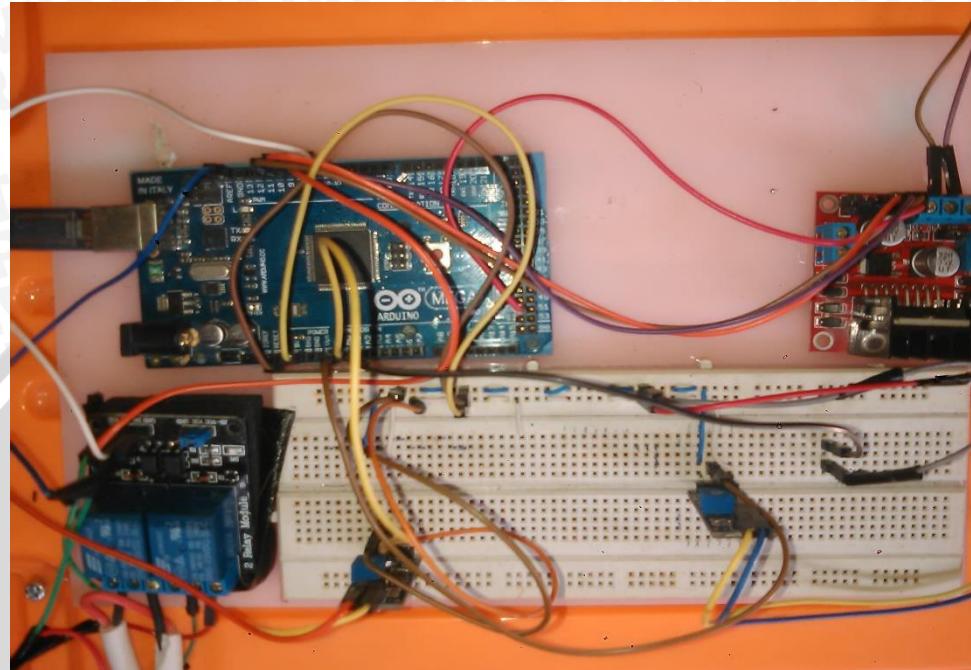
UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LAMPIRAN 1

Foto alat





Rangkaian Elektris Alat



Foto Alat Tampak Atas

LAMPIRAN 2

Listing Program



```
//sensor
float Temp ;float tempPin= A1;
float Moisture=A0;

//driver
#define IN_A 8
#define IN_B 9
#define pinKipas 6
#define pinLampu 7
#define pwmPompa 10
#define on 1
#define off 0

//Parameter
double set_point=0,set_point_suhu=0, PID=0;
double Kp=0,Ki=0,Kd=0;
double Error=0, Error1=0, sError=0, dError=0, lError=0;
double now=0, dTime=0, lTime=0;
void setup()
{
    //Parameter
    set_point=28;
    set_point_suhu=23;
    Kp=5.25;
    Ki=0.2625;
    Kd=0;
    Serial.print("Rangga Pandu Purnama ");
    Serial.println();
    Serial.println("Suhu ,\tKelembaban1 ");

    //driver
    pinMode(IN_A,OUTPUT);pinMode(IN_B,OUTPUT);
    digitalWrite(IN_A,HIGH);digitalWrite(IN_B,LOW);
    pinMode(pinKipas,OUTPUT);
    pinMode(pinLampu,OUTPUT);

}
void loop()
{
    Temp =(5.0 * analogRead(tempPin) * 100.0) / 1024;
    int sensorValue1 = analogRead(A0);
    sensorValue1 = constrain(sensorValue1, 485, 1023);
    Moisture = map(sensorValue1, 485, 1023, 30, 0);
    Serial.print(Temp);
    Serial.print("*C");
    Serial.print("  ");



}
```

```
Serial.print(Moisture);
Serial.println("%");

calculate();
if(PID>225)
{pompa(225);}
else if(PID>0)
{pompa(PID);}
else {pompa(0);}
if (Temp>23) {
digitalWrite (pinKipas,HIGH);
}
else {
digitalWrite(pinKipas,LOW);
}
if (Temp<23) {
digitalWrite (pinLampu,HIGH);
}
else {
digitalWrite(pinLampu,LOW);
}

void calculate()
{
now=millis();
if(lTime!=0){dTIme =(double)(now-lTime);}

Moisture=(double)Moisture;
Error=set_point-Moisture;

sError += Error;
dError -= lError;

PID = (Kp*Error) + (((Ki/10)*sError)*(dTIme/1000)) +((Kd*dError)/(dTIme/1000));
if(PID<=0){PID=0;}
else{PID+=50;}
PID=(int)PID;

lError = Error;
lTime = now;
}

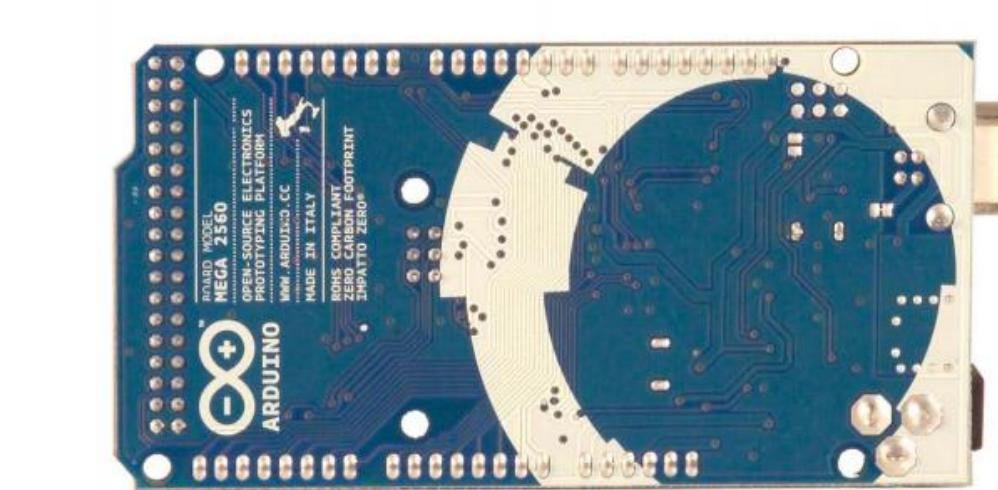
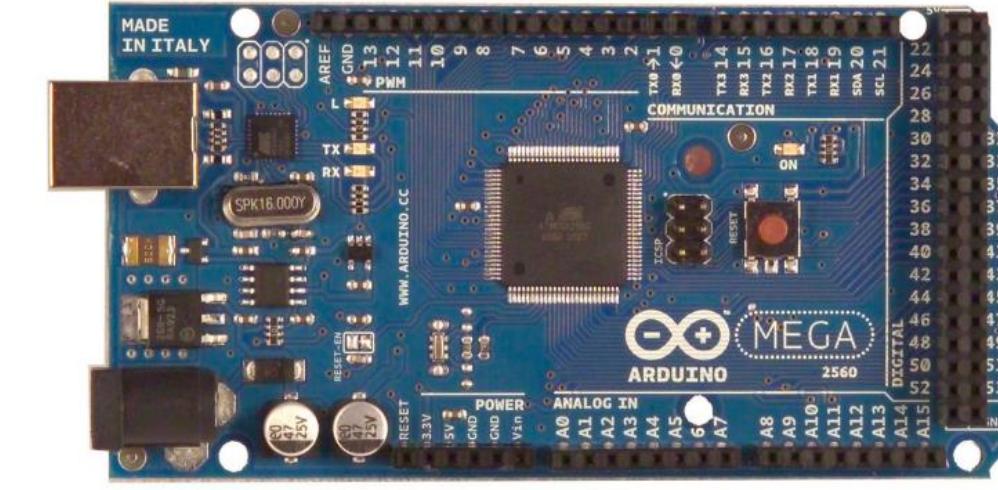
void pompa(int pwm)
{
analogWrite(pwmPompa,pwm);
}
```

LAMPIRAN 3

Datasheet



Arduino Mega 2560



Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 (datasheet). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed

to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

Schematic & Reference Design

EAGLE files: arduino-mega2560-reference-design.zip

Schematic: arduino-mega2560-schematic.pdf

Summary

Microcontroller ATmega2560

Operating Voltage 5V

	Input	Voltage	
(limits)			
Digital I/O	Pins	6-20V	
Analog Input	Pins	54 (of which 14 provide PWM output)	
DC Current per I/O Pin		16	
DC Current for 3.3V Pin		40	
Flash Memory		50 mA	
SRAM		256 KB of which 8 KB used by bootloader	
EEPROM		8 KB	
Clock Speed		4 KB	
		16 MHz	
		Power	

The Arduino Mega can be powered via the USB

connection or with an external power supply. The power source is selected automatically. External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector. The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

The power pins are as follows:

+ **VIN**. The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source).

You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.

+ **5V**. The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.

+ **3V3**. A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.

+ **GND**. Ground pins.

Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the EEPROM library).

Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an input or output, using `pinMode()`, `digitalWrite()`, and `digitalRead()` functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

+ **Serial: 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX)**.

Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.

- + External Interrupts: 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt **3**), and **21 (interrupt 2)**. These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the attachInterrupt() function for details.
- + **PWM: 0 to 13.** Provide 8-bit PWM output with the analogWrite() function.
- + **SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS).** These pins support SPI communication using the SPI library. The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Uno, Duemilanove and Diecimila.
- + **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.
- + **I²C: 20 (SDA) and 21 (SCL).** Support I²C (TWI) communication using the Wire library (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the I²C pins on the Duemilanove or Diecimila.

The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and analogReference() function.

There are a couple of other pins on the board:

- + **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with analogReference().
- + **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

Communication

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware UARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega8U2 on the board channels one of these over USB and provides a virtual com port to software on the computer (Windows

machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically. The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board

will flash when data is being transmitted via the ATmega8U2 chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A SoftwareSerial library allows for serial communication on any of the Mega2560's digital pins. The ATmega2560 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the documentation on the Wiring website for details. For SPI communication, use the SPI library.

Programming

The Arduino Mega can be programmed with the Arduino software ([download](#)). For details, see the reference and tutorials.

The ATmega2560 on the Arduino Mega comes preburned with a bootloader that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol (reference, C header files).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see these instructions for details.

The ATmega8U2 firmware source code is available in the Arduino repository. The ATmega8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2. You can then use Atmel's FLIP software (Windows) or the DFU programmer (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See this user-contributed tutorial for more information.

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Mega2560 is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega2560 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Mega2560 is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the

Mega2560. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Mega2560 contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see this forum thread for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Mega2560 has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

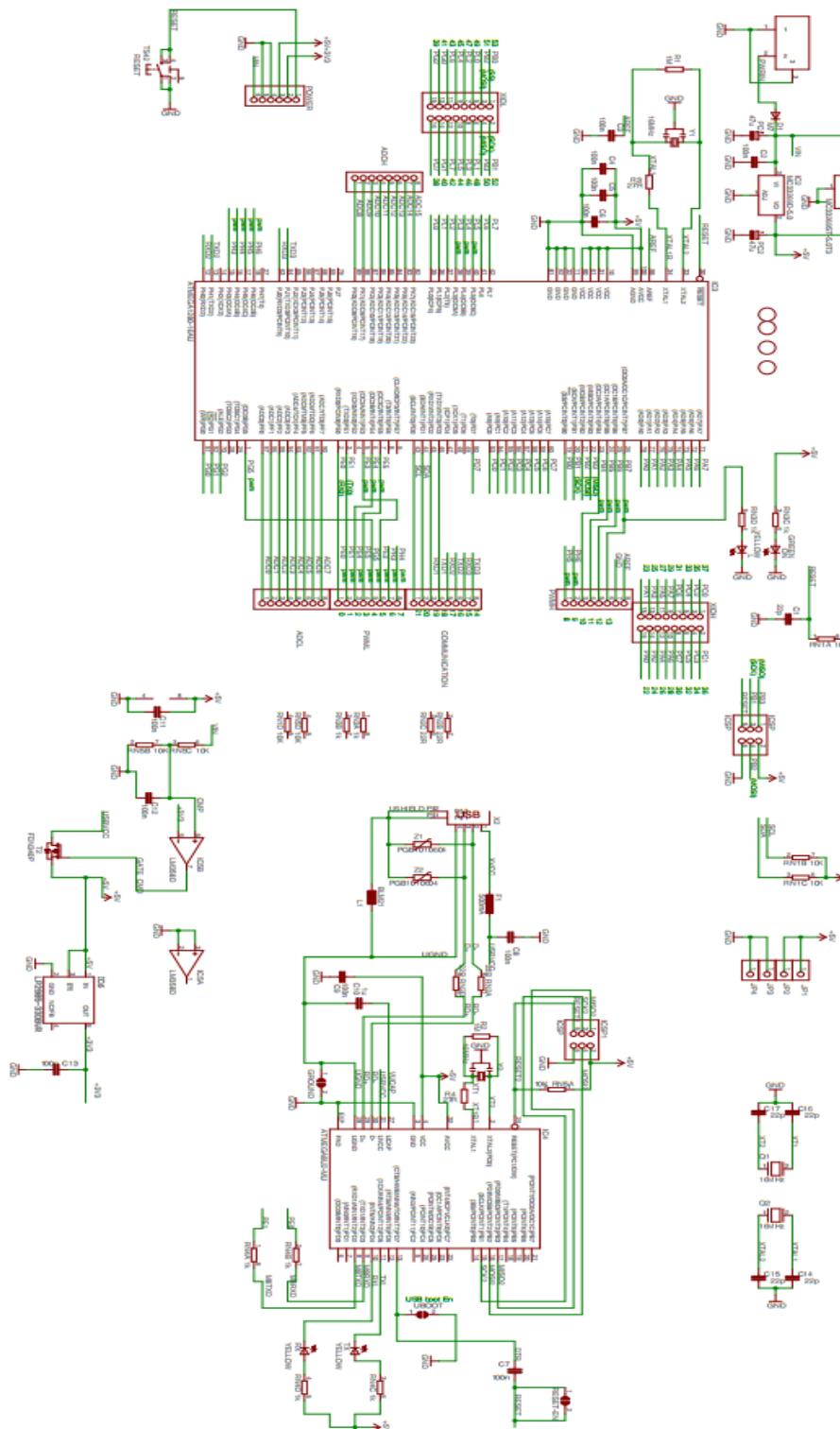
Physical Characteristics and Shield Compatibility

The maximum length and width of the Mega2560 PCB are 4 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

The Mega2560 is designed to be compatible with most shields designed for the Uno, Diecimila or Duemilanove. Digital pins 0 to 13 (and the adjacent AREF and GND pins), analog inputs 0 to 5, the power header, and ICSP header are all in equivalent locations. Further the main UART (serial port) is located on the same pins (0 and 1), as are external interrupts 0 and 1 (pins 2 and 3 respectively). SPI is available through the ICSP header on both the Mega2560 and Duemilanove / Diecimila. *Please note that I²C is not located on the same pins on the Mega (20 and 21) as the Duemilanove / Diecimila (analog inputs 4 and 5)*

Arduino™ Mega 2560 Reference Design

REFERENCE DESIGN PROVIDED AS A GUIDE ONLY. ALL OFFICIAL ARDUINO™ DOCUMENTATION IS AVAILABLE AT www.arduino.cc. THIS DESIGN IS PROVIDED FOR A PARTICULAR PURPOSE AND THE DESIGNER IS NOT RESPONSIBLE FOR ANY HARM OR DAMAGE TO PROPERTY OR PERSONAL INJURY THAT MAY RESULT FROM USE OF THIS DESIGN. THE DESIGNER MAKES NO WARRANTY AS TO THE ACCURACY OF THIS DESIGN. THE DESIGNER IS NOT RESPONSIBLE FOR ANY LOSS OR DAMAGE THAT MAY RESULT FROM USE OF THIS DESIGN.



LM35



National Semiconductor

LM35

Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55° to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available packaged in

hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear $+10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteed (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55° to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for 1 mA load

Typical Applications

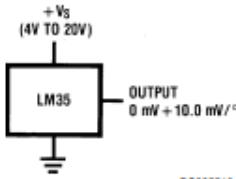
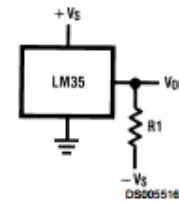


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)

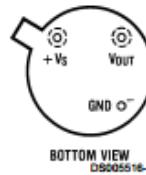


Choose $R_1 = -V_g/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
■ $+250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
■ $-550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

Connection Diagrams

TO-46
Metal Can Package*



*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or
LM35DH

See NS Package Number H03H

SO-8
Small Outline Molded Package



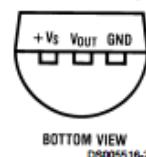
N.C. = No Connection

Top View

Order Number LM35DM

See NS Package Number M08A

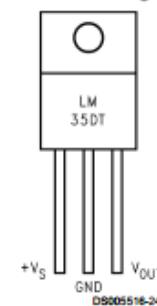
TO-92
Plastic Package



Order Number LM35CZ,
LM35CAZ or LM35DZ

See NS Package Number Z03A

TO-220
Plastic Package*



*Tab is connected to the negative pin (GND).

Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

Order Number LM35DT

See NS Package Number TA03F

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage +35V to -0.2V

Output Voltage +6V to -1.0V

Output Current 10 mA

Storage Temp.:

TO-46 Package, -60°C to +180°C

TO-92 Package, -60°C to +150°C

SO-8 Package, -65°C to +150°C

TO-220 Package, -65°C to +150°C

Lead Temp.:

TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds) 300°C

TO-92 and TO-220 Package,
(Soldering, 10 seconds)

260°C

SO Package (Note 12)

Vapor Phase (60 seconds)

215°C

Infrared (15 seconds)

220°C

ESD Susceptibility (Note 11)

2500V

Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX}
(Note 2)

LM35, LM35A -55°C to +150°C

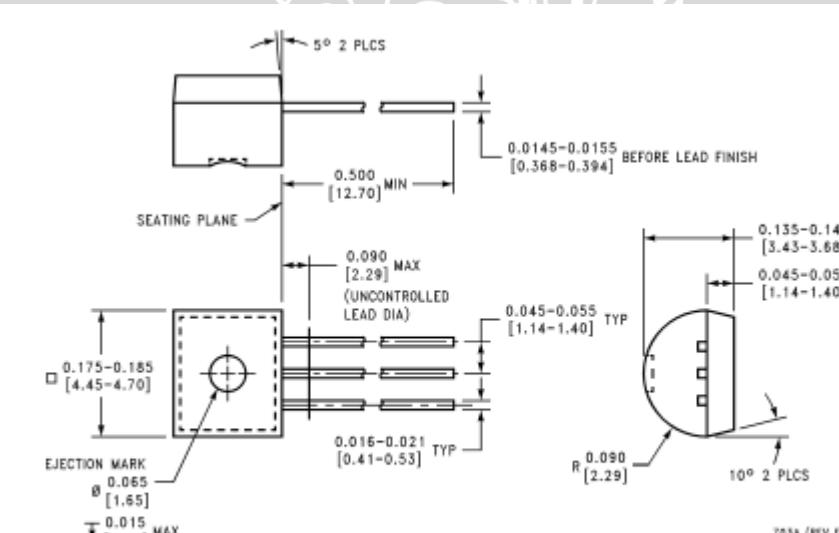
LM35C, LM35CA -40°C to +110°C

LM35D 0°C to +100°C

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		${}^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	${}^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		${}^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	${}^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	${}^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$+10.0$	$+9.9,$ $+10.1$		$+10.0$		$+9.9,$ $+10.1$	$\text{mV}/{}^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$ $4V \leq V_s \leq 30V$	± 0.01 ± 0.02	± 0.05	± 0.1	± 0.01 ± 0.02	± 0.05	± 0.1	mV/V mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_s = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67	131	56	67	114	μA
	$V_s = +5V$	105		91			114	μA
	$V_s = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68	56.2	68		116	μA
	$V_s = +30V$	105.5		91.5			116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_s \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0	0.2	1.0		2.0	μA
	$4V \leq V_s \leq 30V$	0.5		2.0	0.5			μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current			$+0.39$	$+0.5$	$+0.39$		$+0.5$	$\mu\text{A}/{}^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of <i>Figure 1</i> , $I_L = 0$		+1.5		+2.0	+1.5		${}^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			${}^\circ\text{C}$



TO-92 Plastic Package (Z)
Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
NS Package Number Z03A

LM393

**LM393, LM393E, LM293,
LM2903, LM2903E, LM2903V,
NCV2903, NCV2903V**

Low Offset Voltage Dual Comparators

The LM393 series are dual independent precision voltage comparators capable of single or split supply operation. These devices are designed to permit a common mode range-to-ground level with single supply operation. Input offset voltage specifications as low as 2.0 mV make this device an excellent selection for many applications in consumer, automotive, and industrial electronics.

Features

- Wide Single-Supply Range: 2.0 Vdc to 36 Vdc
- Split-Supply Range: ± 1.0 Vdc to ± 18 Vdc
- Very Low Current Drain Independent of Supply Voltage: 0.4 mA
- Low Input Bias Current: 25 nA
- Low Input Offset Current: 5.0 nA
- Low Input Offset Voltage: 5.0 mV (max) LM293/393
- Input Common Mode Range to Ground Level
- Differential Input Voltage Range Equal to Power Supply Voltage
- Output Voltage Compatible with DTL, ECL, TTL, MOS, and CMOS Logic Levels
- ESD Clamps on the Inputs Increase the Ruggedness of the Device without Affecting Performance
- NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Unique Site and Control Change Requirements; AEC-Q100 Qualified and PPAP Capable
- These Devices are Pb-Free, Halogen Free/BFR Free and are RoHS Compliant



ON Semiconductor®

www.onsemi.com

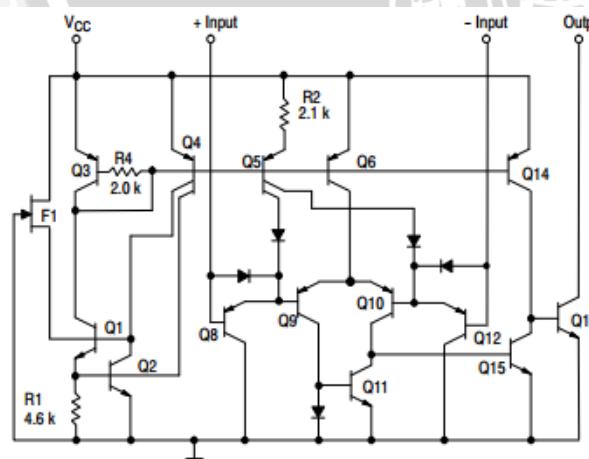
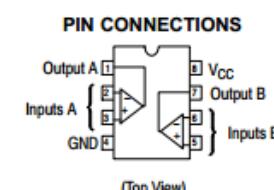
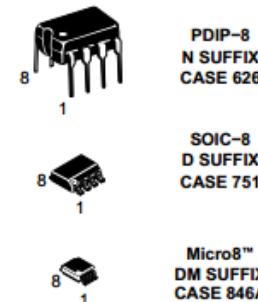


Figure 1. Representative Schematic Diagram
(Diagram shown is for 1 comparator)

DEVICE MARKING AND ORDERING INFORMATION

See detailed marking information and ordering and shipping information on pages 6 and 7 of this data sheet.

LM393, LM393E, LM293, LM2903, LM2903E, LM2903V, NCV2903, NCV2903V

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage	V_{CC}	+36 or ± 18	V
Input Differential Voltage	V_{IDR}	36	V
Input Common Mode Voltage Range (Note 1)	V_{ICR}	-0.3 to +36	V
Output Voltage	V_O	36	V
Output Short Circuit-to-Ground	I_{SC}	Continuous	mA
Output Sink Current (Note 2)	I_{Sink}	20	
Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D $1/R_{JJA}$	570 5.7	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Operating Ambient Temperature Range LM293 LM393, LM393E LM2903, LM2903E LM2903V, NCV2903 (Note 3) NCV2903V (Note 3)	T_A	-25 to +85 0 to +70 -40 to +105 -40 to +125 -40 to +150	$^\circ\text{C}$
Maximum Operating Junction Temperature LM393, LM393E, LM2903, LM2903E, LM2903V LM293, NCV2903	$T_J(\max)$	150 150	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$
ESD Protection at any Pin (Note 4) - Human Body Model - Machine Model	V_{ESD}	1500 150	V

Stresses exceeding those listed in the Maximum Ratings table may damage the device. If any of these limits are exceeded, device functionality should not be assumed, damage may occur and reliability may be affected.

- For supply voltages less than 36 V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
- The maximum output current may be as high as 20 mA, independent of the magnitude of V_{CC} ; output short circuits to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction.
- NCV2903 and NCV2903V are qualified for automotive use.
- ESD rating for NCV/SC devices is: Human Body Model – 2000 V; Machine Model – 200 V.

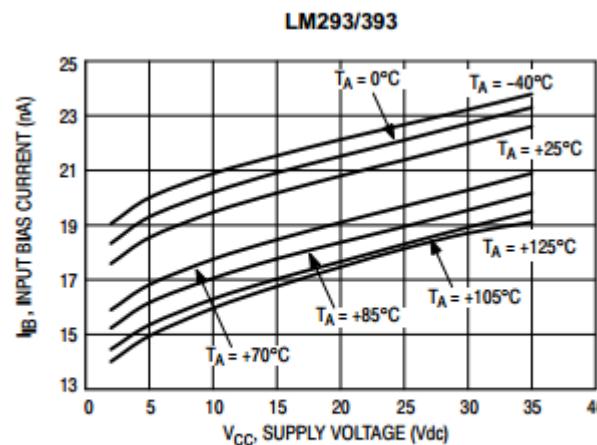


Figure 2. Input Bias Current versus Power Supply Voltage

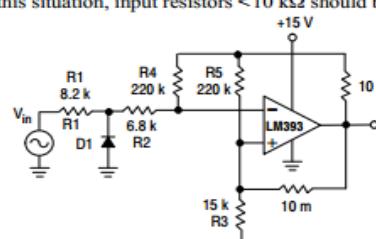
LM393, LM393E, LM293, LM2903, LM2903E, LM2903V, NCV2903, NCV2903V**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ($V_{CC} = 5.0$ Vdc, $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}$, unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	LM293, LM393, LM393E			LM2903/E/V, NCV2903, NCV2903V			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage (Note 6) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}$	V_{IO}	- -	± 1.0 -	± 5.0 ± 9.0	- -	± 2.0 ± 9.0	± 7.0 ± 15	mV
Input Offset Current $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}$	I_{IO}	- -	± 5.0 -	± 50 ± 150	- -	± 5.0 ± 50	± 50 ± 200	nA
Input Bias Current (Note 7) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}$	I_{IB}	- -	20 -	250 400	- -	20 20	250 500	nA
Input Common Mode Voltage Range (Note 7) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}$	V_{ICR}	0 0	- -	$V_{CC} - 1.5$ $V_{CC} - 2.0$	0 0	- -	$V_{CC} - 1.5$ $V_{CC} - 2.0$	V
Voltage Gain $R_L \geq 15 \text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 15$ Vdc, $T_A = 25^\circ\text{C}$	A_{VOL}	50	200	-	25	200	-	V/mV
Large Signal Response Time $V_{in} = \text{TTL Logic Swing}$, $V_{ref} = 1.4$ Vdc $V_{RL} = 5.0$ Vdc, $R_L = 5.1$ k Ω , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	-	300	-	-	300	-	ns
Response Time (Note 9) $V_{RL} = 5.0$ Vdc, $R_L = 5.1$ k Ω , $T_A = 25^\circ\text{C}$	t_{TLH}	-	1.3	-	-	1.5	-	μs
Input Differential Voltage (Note 10) All $V_{in} \geq \text{GND}$ or $V_- - \text{Supply}$ (if used)	V_{ID}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V
Output Sink Current $V_{in} \geq 1.0$ Vdc, $V_{in+} = 0$ Vdc, $V_O \leq 1.5$ Vdc $T_A = 25^\circ\text{C}$	I_{Sink}	6.0	16	-	6.0	16	-	mA
Output Saturation Voltage $V_{in} \geq 1.0$ Vdc, $V_{in+} = 0$, $I_{Sink} \leq 4.0$ mA, $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}$	V_{OL}	- -	150 -	400 700	- -	200	400 700	mV
Output Leakage Current $V_{in-} = 0$ V, $V_{in+} \geq 1.0$ Vdc, $V_O = 5.0$ Vdc, $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{in-} = 0$ V, $V_{in+} \geq 1.0$ Vdc, $V_O = 30$ Vdc, $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}$	I_{OL}	- -	0.1 -	-	- -	0.1	-	nA
Supply Current $R_L = \infty$ Both Comparators, $T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_L = \infty$ Both Comparators, $V_{CC} = 30$ V	I_{CC}	- -	0.4 -	1.0 2.5	- -	0.4	1.0 2.5	mA

Product parametric performance is indicated in the Electrical Characteristics for the listed test conditions, unless otherwise noted. Product

APPLICATIONS INFORMATION

These dual comparators feature high gain, wide bandwidth characteristics. This gives the device oscillation tendencies if the outputs are capacitively coupled to the inputs via stray capacitance. This oscillation manifests itself during output transitions (V_{OL} to V_{OH}). To alleviate this situation, input resistors < 10 k Ω should be used.



D1 prevents input from going negative by more than 0.6 V.

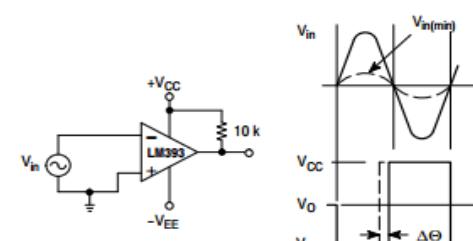
$$R_1 + R_2 = R_3$$

$$R_3 \leq \frac{R_5}{10} \text{ for small error in zero crossing.}$$

**Figure 8. Zero Crossing Detector
(Single Supply)**

The addition of positive feedback (<10 mV) is also recommended. It is good design practice to ground all unused pins.

Differential input voltages may be larger than supply voltage without damaging the comparator's inputs. Voltages more negative than -0.3 V should not be used.



$$V_{in(min)} \approx 0.4 \text{ V peak for } 1\% \text{ phase distortion } (\Delta\theta).$$

**Figure 9. Zero Crossing Detector
(Split Supply)**

L298N

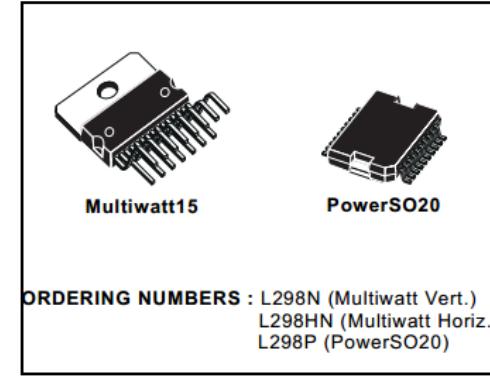
**L298**

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERRATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

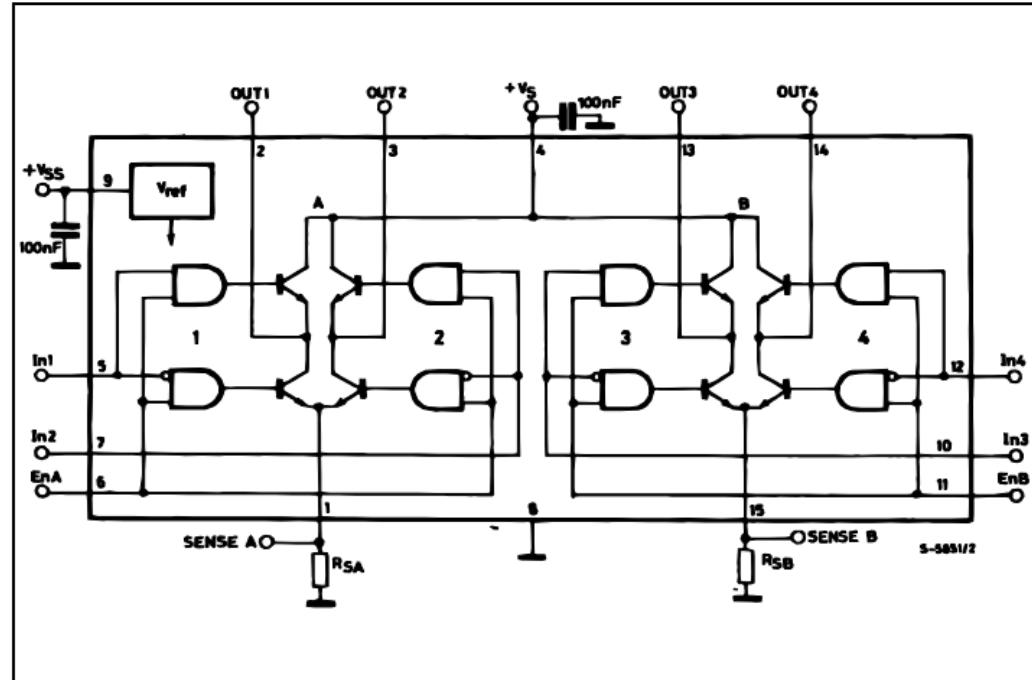
DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the connection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.



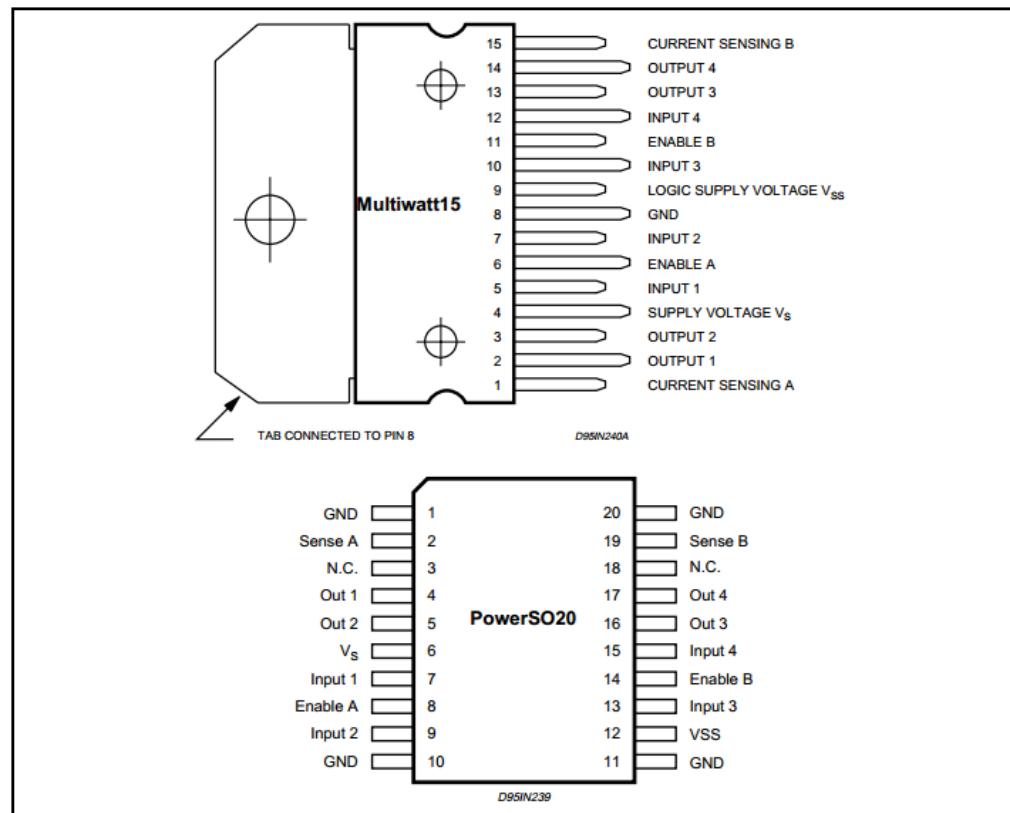
ORDERING NUMBERS : L298N (Multiwatt Vert.)
L298HN (Multiwatt Horiz.)
L298P (PowerSO20)

BLOCK DIAGRAM



L298**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_i, V_{en}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I_o	Peak Output Current (each Channel)		
	– Non Repetitive ($t = 100\mu s$)	3	A
	– Repetitive (80% on –20% off; $t_{on} = 10ms$)	2.5	A
	– DC Operation	2	A
V_{sens}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^\circ C$)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	°C
T_{sig}, T_j	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	°C

PIN CONNECTIONS (top view)

THERMAL DATA

Symbol	Parameter	PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{th,j-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max.	–	3 °C/W
$R_{th,j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	35 °C/W

(*) Mounted on aluminum substrate

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V _s	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	V _{SS}	Supply Voltage for the Logic Blocks. A 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
–	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_s = 42V; V_{SS} = 5V, T_j = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _s	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V _{IH} +2.5	46	46	V
V _{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I _S	Quiescent Supply Current (pin 4)	V _{en} = H; I _L = 0 V _i = L V _i = H		13 50	22 70	mA mA
		V _{en} = L V _i = X			4	mA
I _{SS}	Quiescent Current from V _{SS} (pin 9)	V _{en} = H; I _L = 0 V _i = L V _i = H		24 7	36 12	mA mA
		V _{en} = L V _i = X			6	mA
V _{IL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		-0.3		1.5	V
V _{iH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V _{SS}	V
I _{IL}	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _i = L			-10	µA
I _{iH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _i = H ≤ V _{SS} -0.6V		30	100	µA
V _{en} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		-0.3		1.5	V
V _{en} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V _{SS}	V
I _{en} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = L			-10	µA
I _{en} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = H ≤ V _{SS} -0.6V		30	100	µA
V _{CESat} (H)	Source Saturation Voltage	I _L = 1A I _L = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V
V _{CESat} (L)	Sink Saturation Voltage	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V
V _{CESat}	Total Drop	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V
V _{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		-1 (1)		2	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

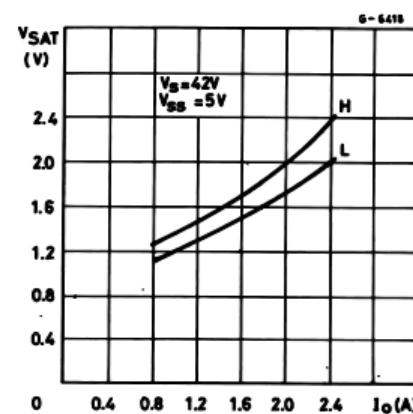
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$T_1(V_i)$	Source Current Turn-off Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (2); (4)		1.5		μs
$T_2(V_i)$	Source Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (2); (4)		0.2		μs
$T_3(V_i)$	Source Current Turn-on Delay	0.5 V_i to 0.1 I_L (2); (4)		2		μs
$T_4(V_i)$	Source Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (2); (4)		0.7		μs
$T_5(V_i)$	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (3); (4)		0.7		μs
$T_6(V_i)$	Sink Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (3); (4)		0.25		μs
$T_7(V_i)$	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (3); (4)		1.6		μs
$T_8(V_i)$	Sink Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (3); (4)		0.2		μs
$f_c(V_i)$	Commutation Frequency	$I_L = 2A$		25	40	KHz
$T_1(V_{en})$	Source Current Turn-off Delay	0.5 V_{en} to 0.9 I_L (2); (4)		3		μs
$T_2(V_{en})$	Source Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (2); (4)		1		μs
$T_3(V_{en})$	Source Current Turn-on Delay	0.5 V_{en} to 0.1 I_L (2); (4)		0.3		μs
$T_4(V_{en})$	Source Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (2); (4)		0.4		μs
$T_5(V_{en})$	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V_{en} to 0.9 I_L (3); (4)		2.2		μs
$T_6(V_{en})$	Sink Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (3); (4)		0.35		μs
$T_7(V_{en})$	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V_{en} to 0.9 I_L (3); (4)		0.25		μs
$T_8(V_{en})$	Sink Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (3); (4)		0.1		μs

1) 1)Sensing voltage can be $-1V$ for $t \leq 50 \mu s$; in steady state $V_{sens} \text{ min} \geq -0.5 V$.

2) See fig. 2.

3) See fig. 4.

4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.**Figure 2 : Switching Times Test Circuits.**