

**APLIKASI SMT (SURFACE MOUNT TECHNOLOGY) PADA
RANGKAIAN PWM (PULSE WIDTH MODULATION) UNTUK
MENGATUR KECEPATAN PUTARAN MOTOR DC**

SKRIPSI

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelara Sarjana Teknik**



Disusun Oleh :

BQ. IFFA FAUZIAH R

NIM. 0810632003

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK**

MALANG

2012

LEMBAR PERSETUJUAN

**APLIKASI SMT (SURFACE MOUNT TECHNOLOGY) PADA
RANGKAIAN PWM (PULSE WIDTH MODULATION) UNTUK
MENGATUR KECEPATAN PUTARAN MOTOR DC**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik**



Disusun Oleh :

BQ. IFFA FAUZIAH R

NIM. 0810632003

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, M.S.

Ir. Nurussa'adah, MT.

NIP. 19580728 198701 1 001

NIP. 19680706 199203 2 001



LEMBAR PENGESAHAN

**APLIKASI SMT (SURFACE MOUNT TECHNOLOGY) PADA
RANGKAIAN PWM (PULSE WIDTH MODULATION) UNTUK
MENGATUR KECEPATAN PUTARAN MOTOR DC**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik**

Disusun oleh:

BQ. IFFA FAUZIAH R

NIM. 0810632003

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 4 Juli 2012

Dosen Penguji

M. Julius St., Ir., M.S.
19670627 199802 1 001

Mochammad Rif'an, ST.,M.T.
NIP. 19710301 200012 1 001

Eka Maulana, ST., MT., M.Eng.
NIP. 19710301 200012 1 001

**Mengetahui ,
Ketua Jurusan Teknik Elektro**

Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, M.S.
19580728 198701 1 001

ABSTRAK

Bq. Iffa Fauziah Rahmawati, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2012, *Aplikasi SMT (Surface Mount Technology) pada Rangkaian PWM (Pulse Width Modulation) untuk Mengatur Kecepatan Putaran Motor DC*. Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS. dan Ir. Nurussa'adah, MT.

Pengaturan kecepatan putaran motor DC dapat dilakukan dalam berbagai macam metode, salah satunya menggunakan metode rangkaian PWM. Pada metode ini pengaturan kecepatan motor didapat dari mengatur perubahan kondisi *on-off* dari PWM. Rangkaian *Pulse Width Modulation* atau PWM merupakan suatu rangkaian yang keluarannya berupa pulsa yang dapat diatur lebar sempitnya tanpa terjadi perubahan pada frekuensinya. Dengan cara mengendalikan perubahan lebar pulsa (*duty cycle*) kecepatan motor dapat diatur untuk dapat berputar perlahan sampai berputar maksimum.

Dalam skripsi ini dirancang sebuah rangkaian PWM yang dapat mengatur kecepatan putaran motor DC menggunakan komponen SMT untuk mengetahui keandalan dari komponen SMT apabila digunakan dalam rangkaian yang berfungsi untuk pengaturan kecepatan motor DC. Dengan menghubungkan rangkaian PWM pengatur kecepatan putaran motor yang telah diberi beban motor dc 12V, 1A ke osiloskop digital, akan diketahui perubahan *duty cycle* nya dan untuk mengukur kecepatan putaran motornya diukur menggunakan *tachometer* digital. Dari data yang dihasilkan dari percobaan yang dilakukan, dapat dilihat bagaimana keandalan komponen SMT apabila digunakan untuk pengaturan kecepatan motor. Dengan menguji kinerja rangkaian menggunakan komponen SMT untuk mengatur kecepatan putaran motor DC 12V, 1A akan dinilai keandalan sistem nya apakah pengaturan kecepatan yang dihasilkan berjalan dengan baik atau tidak.

Hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pengaturan kecepatan putaran motor menggunakan komponen SMT ini dapat menggerakkan motor pada saat *duty cycle* mencapai 7% dengan kecepatan putaran motor sebesar 2638 rpm. Kecepatan putaran motor maksimum didapat pada saat *duty cycle* mencapai 90% dan kecepatan putaran motor mencapai 14763 rpm. Perubahan *duty cycle* yang dapat diatur adalah mulai dari 0% sampai 95%

Kata kunci: PWM, *duty cycle*, SMT

PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan hidayah dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan lancar. Shalawat dan salam penulis ucapkan kepada Muhammad Rasulullah atas risalahnya. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik dari Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

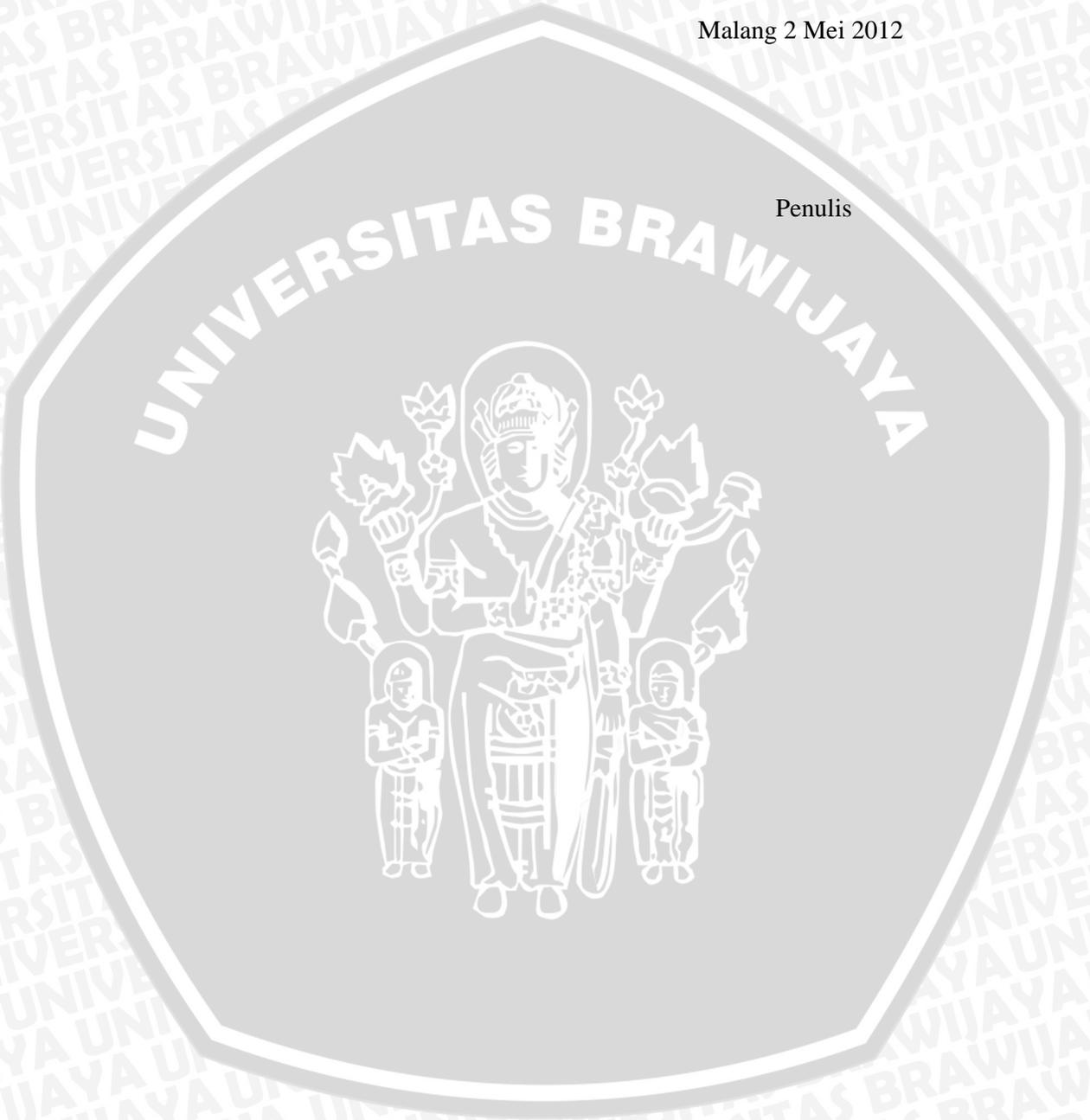
Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, bimbingan serta dorongan dari semua pihak, penyelesaian skripsi ini dapat terwujud. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya
2. M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya
3. Bapak Ir. M. Julius ST., MS selaku KKDK Elelektronika Jurusan Teknik Elektro
4. Bapak Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS. Selaku dosen pembimbing I dan Ibu Nurussa'adah, MT. selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan arahan dan bantuan sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan lancar
5. Almarhum Bapak Agung Darmawansyah, ST., MT. selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan serta bantuan baik dari segi akademik maupun pribadi sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik
6. Ayahanda dan Ibunda tercinta yang telah memberikan segala yang dibutuhkan, do'a, kasih sayang, dukungan dan semangat yang tiada akhir hingga hari ini.
7. Semua pihak yang telah memberi bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari bahwa penulisan ini belum sempurna karena keterbatasan ilmu yang penulis miliki. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang 2 Mei 2012

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II. DASAR TEORI	4
2.1 Jenis-Jenis PWM	4
2.2 Komponen Teknologi Hybrid (Surface Mount Device)	9
2.3 Komponen Pasif Surface Mount	9
2.3.1 Resistor Surface Mount	10
2.3.2 Kapasitor Keramik	12
2.4 Komponen Aktif Surface Mount (Kemasan Plastik)	15
2.4.1 Small Outline Transistor	15
2.4.2 Small Outline Integrated Circuits	19
2.5 Keuntungan Penggunaan Teknologi Surface Mounting	20
2.6 Berbagai Macam Tipe Surface Mounting	24
2.7 Motor DC	28
2.7.1 Prinsip Kerja Motor DC	29
2.7.2 Rangkaian Ekuivalen Motor DC	31
2.8 Motor DC Shunt	32

2.8.1 Karakteristik Terminal Motor DC Shunt	32
2.8.2 Pengendalian Kecepatan Motor DC Shunt	35
2.9 IC TIMER 555	38
2.9.1 Mode Monostable Multivibrator	39
2.9.2 Mode Astable Multivibrator	42
2.10 MOSFET	44
2.10.1 Karakteristik MOSFET	45
2.11 Dioda	47
2.12 Optokopler	48
2.12.1 Parameter Kunci	49
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	51
3.1 Perancangan Alat	51
3.2 Pembuatan Rangkaian dengan Teknologi Surface Mounting	51
3.3 Pengujian Alat dan Analisis	52
BAB IV. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	53
4.1 Penentuan Spesifikasi Alat	53
4.2 Pembuatan Diagram Blok Rangkaian	53
4.3 Perhitungan dan Perancangan Sistem	54
4.3.1 Perancangan Rangkaian Input	54
4.3.2 Perancangan Rangkaian PWM	56
4.3.3 Perancangan Rangkaian Driver Motor	56
4.4 Standard Pembuatan Rangkaian dengan SMT	58
4.4.1 Persiapan Sebelum Pencetakan & Saat Pencetakan	58
4.4.2 Proses Etsa pada PCB	59
4.4.3 Proses Pelaksanaan Etsa	60
4.4.4 Penyolderan Komponen SMD	61
BAB V. PENGUJIAN ALAT DAN ANALISIS	64
5.1 Pengukuran Frekuensi Output Rangkaian Pembangkit Pulsa	64
5.1.1 Pengukuran Frekuensi Rangkaian Pembangkit Pulsa	65

5.1.2 Analisis Pengukuran Rangkaian Pembangkit Pulsa 70

5.2 Pengukuran Frekuensi Osilator 70

5.2.1 Pengukuran Rangkaian Osilator 71

5.2 Analisis Rangkaian Osilator 72

5.3 Pengukuran Duty Cycle PWM Tanpa Beban 73

5.3.1 Analisis Pengukuran Duty Cycle PWM Tanpa Beban 76

5.4 Pengukuran RPM Motor dan Duty Cycle PWM dengan Beban 76

5.4.1 Analisis Pengukuran 79

BAB VI. PENUTUP 81

6.1 Kesimpulan 81

6.2 Saran 81

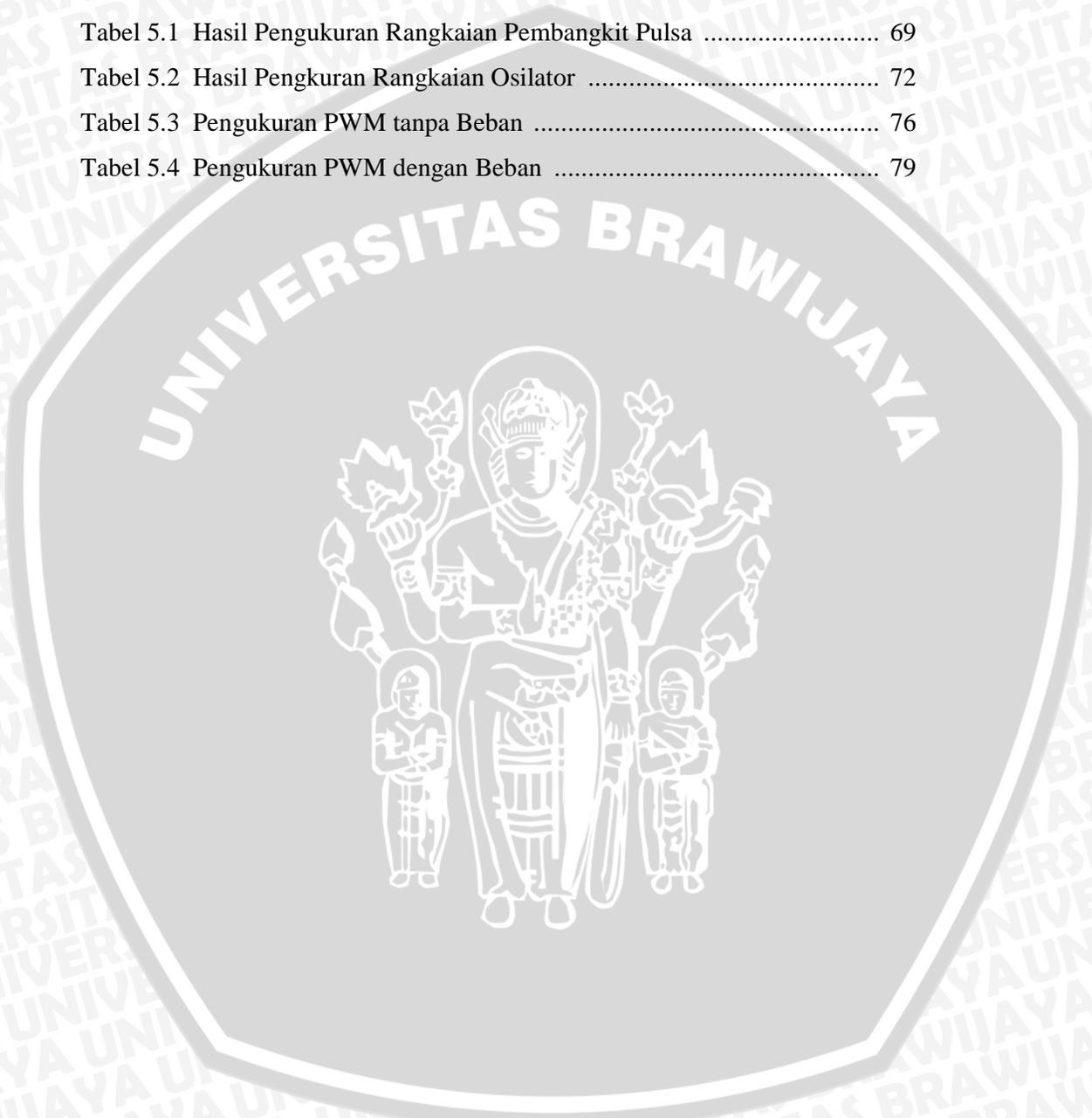
DAFTAR PUSTAKA 82

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 5.1 Hasil Pengukuran Rangkaian Pembangkit Pulsa	69
Tabel 5.2 Hasil Pengukuran Rangkaian Osilator	72
Tabel 5.3 Pengukuran PWM tanpa Beban	76
Tabel 5.4 Pengukuran PWM dengan Beban	79



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Komparator Sinyal	5
Gambar 2.2 Rangkaian Buck Converter	6
Gambar 2.3 Sinyal Buck Converter	6
Gambar 2.4 Gelombang Kerja CCM	7
Gambar 2.5 Rangkaian Boost Converter	8
Gambar 2.6 Gelombang CCM Boost Converter	9
Gambar 2.7 Resistor Surface Mount	10
Gambar 2.8 Dimensi Resistor	12
Gambar 2.9 Kapasitor Keramik Multilayer	13
Gambar 2.10 Range Kapasitansi	13
Gambar 2.11 Bagian Kapasitor	14
Gambar 2.12 Dimensi Kapasitor Keramik	15
Gambar 2.13 Konstruksi Internal SOT 23	16
Gambar 2.14 Kemasan SOT 23	16
Gambar 2.15 Dimensi SOT 23	17
Gambar 2.16 Dimensi SOT 89	18
Gambar 2.17 Dimensi SOT 143	19
Gambar 2.18 Dimensi Kemasan SOIC	20
Gambar 2.19 Perbandingan Ukuran Komponen SMT	22
Gambar 2.20 Perbandingan Ukuran Board	22
Gambar 2.21 Delay Propagasi	23
Gambar 2.22 Perbandingan Board	24
Gambar 2.23 Tiga Prinsip Perakitan SMT	25
Gambar 2.24 Proses SMT Tipe III	26
Gambar 2.25 Proses SMT Tipe I	27
Gambar 2.26 Proses SMT Tipe II	28
Gambar 2.27 Motor DC Sederhana	29
Gambar 2.28 Medan Magnet yang Membawa Arus Mengelilingi Konduktor	29

Gambar 2.9 Medan Magnet Konduktor	30
Gambar 2.30 Reaksi Garis Flux	30
Gambar 2.31 Rangkaian Ekvivalen Motor DC	31
Gambar 2.32 Rangkaian Ekvivalen Motor DC Shunt	32
Gambar 2.33 Torsi vs Kecepatan Motor DC Shunt	33
Gambar 2.34 Torsi vs Kecepatan dengan Reaksi Jangkar	34
Gambar 2.35 Kurva Magnetisasi Motor DC	35
Gambar 2.36 Efek Resistansi	36
Gambar 2.37 Rangkaian Pengendalian Tegangan Jangkar	37
Gambar 2.38 Efek Pengendalian Tegangan Jangkar	38
Gambar 2.39 Efek Pengendalian Resistansi Jangkar	38
Gambar 2.40 Diagram Blok IC 555	39
Gambar 2.41 Diagram Blok Mode Monostable	40
Gambar 2.42 Rangkaian Mode Astable	42
Gambar 2.43 Bentuk Gelombang Mode Astable	43
Gambar 2.44 MOSFET Kanal-p	44
Gambar 2.45 MOSFET Kanal-n	45
Gambar 2.46 Karakteristik Drain Kanal-p	46
Gambar 2.47 Karakteristik Drain Kanal-n	46
Gambar 2.48 Karakteristik Pindah Kanal-p	47
Gambar 2.49 Karakteristik Pindah Kanal-n	47
Gambar 2.50 Grafik Arus vs Tegangan Dioda Semikonduktor	48
Gambar 2.51 Rangkaian Internal Optokopler	49
Gambar 4.1 Blok Diagram Rangkaian PWM	53
Gambar 4.2 Rangkaian Multivibrator Astabil	55
Gambar 4.3 Rangkaian PWM	56
Gambar 4.4 Rangkaian Driver Motor	57
Gambar 4.5 Proses Penyolderan	63
Gambar 4.6 Hot Air Flow Solder	63
Gambar 5.1 Rangkaian Pembangkit Pulsa	64
Gambar 5.2 Rangkaian Osilator	70
Gambar 5.3 Rangkaian PWM	73

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I Data Sheet



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pengaturan kecepatan motor listrik merupakan hal yang paling mendasar untuk keperluan industri. Hal ini ditunjukkan dalam banyaknya industri yang menggunakan motor sebagai penggerak utamanya, contohnya konveyor, mesin pengaduk (*mixer*), dan mesin bor.

Berbagai metode dapat dilakukan untuk mengatur kecepatan putaran motor, diantaranya dengan menggunakan kontrol logika *fuzzy*, mikrokontroler, kontrol PID, dan PWM (*Pulse Width Modulation*). Logika *fuzzy* dapat digunakan untuk mengatur putaran motor dc, dan menghasilkan pengaturan yang sangat halus, namun metode ini memiliki banyak hitungan yang rumit. Metode mikrokontroler dapat menghasilkan sinyal yang kebal terhadap derau, namun mikrokontroler tidak tahan terhadap perubahan tegangan yang dihasilkan oleh motor yang mengakibatkan program dalam mikrokontroler kacau. Pada metode kontrol PID, sinyal error yang timbul dapat dimanipulasi, sehingga hasil keluarannya akan sama persis seperti yang diinginkan, namun kontrol PID memiliki banyak parameter yang harus ditentukan. Pengaturan kecepatan putaran motor menggunakan metode PWM dapat dilakukan dengan praktis karena didukung dengan adanya kemajuan teknologi semikonduktor yang memungkinkan penggunaan penyaklaran PWM dengan kecepatan tinggi.

Rangkaian PWM atau *Pulse Width Modulation* merupakan suatu rangkaian yang mengeluarkan sinyal berbentuk kotak (pulsa), dimana lebar pulsanya dapat diatur, namun frekuensi keluarannya tidak berubah (tetap). PWM bekerja dengan cara membuat gelombang kotak yang memiliki perbandingan waktu *on* dan *off* tertentu, biasanya dalam skala 0-100%, yang disebut *duty cycle*. *Duty cycle* merupakan hasil perpotongan dari sinyal referensi dengan sinyal *input*. Pada metode pengaturan kecepatan putaran motor dc menggunakan PWM, *output* PWM yang berupa *duty cycle* akan masuk ke rangkaian *driver* motor melalui kaki basis dan akan men-*trigger* basis sehingga membuat transistor bekerja. Motor dc

dihubungkan dengan kaki kolektor dan akan berputar sesuai dengan *trigger* yang timbul pada basis. Basis akan berada dalam kondisi *on-off* sesuai dengan kondisi *on-off* dari PWM. Kondisi ini akan membuat motor berputar dan mati sesuai dengan kondisi PWM. Gerakan motor saat dihidupkan kemudian dimatikan tidak membuat putaran motor langsung berhenti, maka dengan membuat kondisi *on-off* yang cepat dari PWM akan membuat motor terlihat berputar terus. Dengan mengatur perubahan kondisi *on-off* dari PWM maka frekuensi putaran motor dapat diatur.

Skripsi ini akan mengkaji PWM dari IC 555 yang dikombinasikan dengan IC digital yang mana semua komponen tersebut merupakan komponen SMT. Komponen SMT dipilih karena memiliki dimensi yang kecil dan ringan dengan toleransi yang kecil serta unjuk kerja yang tinggi, karena jalur komponen yang semakin kecil dan pendek. Selain itu rangkaian akan menjadi semakin kompak karena menggunakan komponen-komponen mikroelektronik dalam orde mikron. Rangkaian PWM yang dihasilkan akan memiliki dimensi yang kecil dan diharapkan memiliki kinerja yang jauh lebih bagus daripada menggunakan komponen diskrit.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, rumusan masalah yang dapat dibuat adalah bagaimana merancang rangkaian PWM menggunakan komponen SMT yang memiliki kinerja yang baik yang ditunjukkan dengan indikator nilai kuantitatif yaitu tegangan *output* PWM yang dihasilkan dapat diatur sesuai keinginan, respon yang cepat terhadap perubahan tegangan *input* dan arus beban yang cepat pula.

1.3 Batasan Masalah

Sesuai dengan rumusan masalah yang sudah dibuat maka dibuat batasan masalah sebagai berikut:

- 1) Penelitian dilakukan di Lab Elka Teknik Elektro Jurusan Elektronika Universitas Brawijaya Malang dengan menggunakan osiloskop digital untuk mengetahui bentuk sinyal yang dihasilkan.

- 2) Penelitian dilakukan di Lab Elka Daya Teknik Elektro UB dengan menggunakan *tachometer* untuk mengetahui kecepatan putar motor.
- 3) Aspek kajian penelitian dinilai dari performa kerja rangkaian PWM yaitu dari ketepatan pengaturan kecepatan putaran motor dc

1.4 Tujuan

Tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk merancang dan mewujudkan rangkaian PWM yang digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor dc *shunt*.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika dalam penulisan skripsi ini terdiri atas enam bab. Bab 1 membahas tentang pendahuluan yang terdiri atas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan skripsi, dan sistematika penulisan skripsi. Latar belakang berisi tentang hal-hal yang mendasari penulisan skripsi dan penjelasan singkat tentang isi skripsi. Rumusan masalah menjelaskan tentang hal-hal yang akan dibahas lebih lanjut dalam skripsi. Batasan masalah berisi tentang hal-hal yang membatasi pembahasan dalam penulisan skripsi. Tujuan berisi hal-hal yang ingin dicapai dalam penulisan skripsi. Sistematika penulisan berisi tentang tata cara penulisan skripsi dari Bab 1 sampai Bab 6. Bab 2 membahas tentang dasar teori yang berisi berbagai teori dasar perancangan PWM, komponen-komponen yang akan digunakan dalam perancangan, kelebihan dan kekurangan komponen SMT, dan jenis motor dc yang dipakai serta karakteristik motor dc. Bab 3 membahas tentang metodologi penelitian yang berisi tentang metode-metode yang digunakan dalam perencanaan rangkaian PWM. Bab 4 membahas tentang perancangan dan perealisasi sistem yang meliputi spesifikasi alat, perencanaan diagram blok, dan prinsip kerja sistem. Bab 5 membahas tentang proses pengujian dan hasil analisis data yang diperoleh dari rangkaian yang telah dibuat. Bab 6 membahas tentang kesimpulan dari hasil pengujian dan analisis data yang diperoleh dari rangkaian yang telah dibuat.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan beberapa teori penunjang yang digunakan dalam pembuatan skripsi ini, antara lain:

2.1 Jenis-jenis PWM

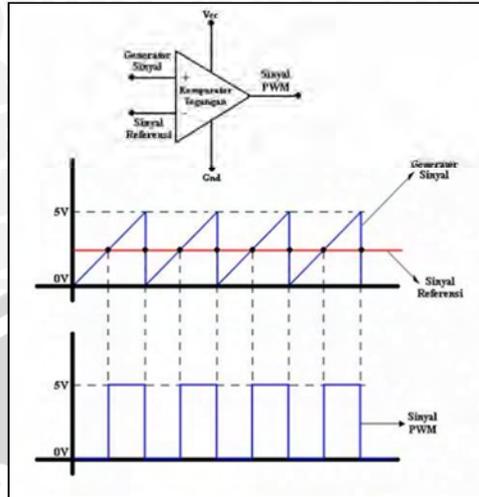
Pulse Width Modulation merupakan salah satu bentuk metode dc-dc *converter* yang baik digunakan untuk aplikasi *driver* motor, karena dengan menggunakan PWM kecepatan putaran motor dapat diatur dengan mudah menggunakan perubahan nilai *duty cycle* tanpa harus merubah nilai frekuensi dan tegangan yang diberikan ke beban (motor).

Pada dc-dc *converter*, nilai rata-rata tegangan *output* dc harus diatur untuk mendapatkan level tegangan yang diinginkan, meskipun tegangan *input* dan bebannya berubah-ubah. Tegangan *output* rata-rata dikontrol dengan cara mengatur durasi *on* dan *off* dari *switch* (t_{on} dan t_{off}). Salah satu cara untuk mengatur tegangan *output* pada frekuensi yang tetap adalah dengan mengatur durasi t_{on} dari *switch*. Metode ini disebut *switching* PWM atau *duty ratio switching*. Yang didefinisikan dengan perbandingan durasi t_{on} dengan satu periode waktu *switching* (T_s).

Pada *switching* PWM dengan frekuensi tetap, sinyal kontrol yang mengontrol keadaan *on* atau *off* dari *switch* dibangkitkan dengan cara membandingkan level tegangan kontrol dengan tegangan masukan yang berupa gelombang gigi gergaji. Tegangan sinyal kontrol didapat dengan membandingkan nilai tegangan aktual *output* dan tegangan yang diinginkan. Sinyal kontrol akan *on* pada saat tegangan kontrol lebih besar daripada tegangan masukan, dan akan *off* pada saat sebaliknya. Hal inilah yang mendasari perhitungan *duty cycle*, dimana:

$$D = \frac{t_{on}}{T_s} \quad (2.1)$$

Bentuk sinyal komparator PWM ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Komparator Sinyal

Sumber : <http://roenz.wordpress.com/>

Ada beberapa macam bentuk topologi *converter* dc-dc:

- 1) *Buck (step-down) converter*
- 2) *Boost (step-up) converter*
- 3) *Buck-Boost converter*
- 4) *Cuk converter*
- 5) *Full-bridge converter*

Dari lima bentuk topologi tersebut hanya *buck converter* dan *boost converter* yang merupakan bentuk topologi dasar dc-dc *converter*.

2.1.1 *Buck Converter*

Seperti namanya *converter* ini menghasilkan tegangan *output* yang lebih rendah daripada tegangan *input*. Kegunaan utamanya adalah untuk mengatur kecepatan putar motor dc.

Dengan asumsi saklar ideal, tegangan *input* konstan, dan beban resistif murni, maka besarnya tegangan *output* rata-rata dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$V_0 = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} V_0(t) dt = \frac{1}{T_s} \left(\int_0^{t_{on}} V_d dt + \int_{t_{on}}^{T_s} 0 dt \right) = \frac{t_{on}}{T_s} V_d = DV_d \quad (2.2)$$

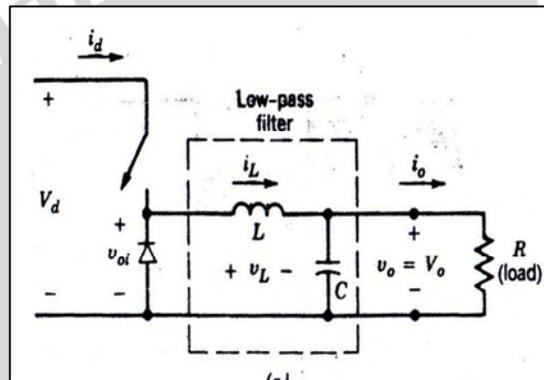
Substitusi persamaan 2.1 ke persamaan 2.2 menghasilkan:

$$V_0 = \frac{V_d}{V_{st}} V_{kontrol} = kv_{kontrol} \quad (2.3)$$

Dimana:

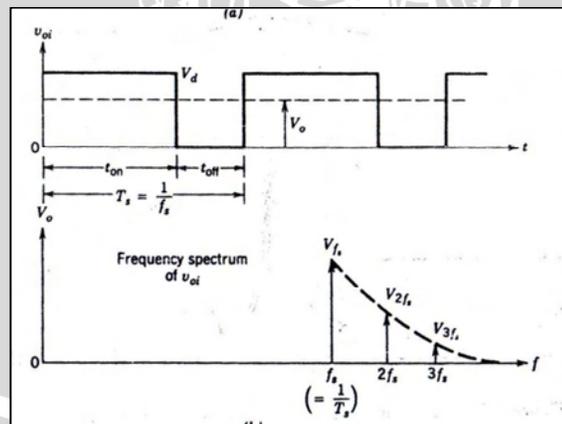
$$k = \frac{V_d}{V_{st}} = konstan \quad (2.4)$$

Dengan memberikan berbagai macam variasi *duty* rasio $\frac{t_{on}}{T_s}$ pada saklar maka tegangan *output* V_0 bisa dikontrol. Gambar rangkaian *buck converter* ditunjukkan dalam Gambar 2.2 sedangkan bentuk sinyal yang dihasilkan ditunjukkan dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.2 Rangkaian *Buck converter*

Sumber: Mohan, Undeland, Robbins, 1995:165

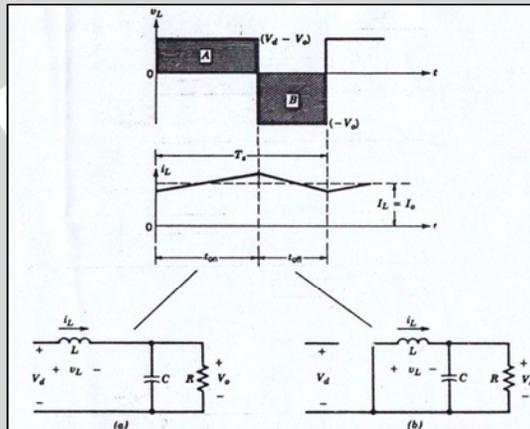


Gambar 2.3 Sinyal *Buck converter*

Sumber: Mohan, Undeland, Robbins, 1995:165

Continuous Conduction Mode (CCM)

Gambar 2.4 menunjukkan bentuk gelombang kerja untuk CCM, dimana arus induktor mengalir secara kontinu ($I_L(t) > 0$). Saat saklar *on* selama selang waktu t_{on} dioda akan dibias mundur. Ini menghasilkan tegangan positif pada induktor $V_L = V_d - V_o$. Tegangan ini membuat arus induktor I_L naik secara linear. Saat saklar *off*, arus induktor tetap mengalir, sekarang melewati dioda dan $V_L = -V_o$.



Gambar 2.4 Gelombang Kerja CCM

Sumber: Mohan, Undeland, Robbins, 1995:166

Pada saat keadaan stabil bentuk gelombang terus berulang dari satu periode dan seterusnya, maka integral dari tegangan induktor selama selang waktu satu periode harus sama dengan nol, dimana $T_s = t_{on} + t_{off}$

$$\int_0^{T_s} V_L dt = \int_0^{t_{on}} V_L dt + \int_{t_{on}}^{T_s} V_L dt = 0 \tag{2.5}$$

Lebar daerah A dan B harus sama, sehingga:

$$(V_d - V_o)t_{on} = V_o(T_s - t_{on}) \tag{2.6}$$

Atau

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{t_{on}}{T_s} = D \text{ (duty ratio)} \tag{2.7}$$

Sehingga pada mode kerja ini tegangan *output* akan berubah secara linear seiring dengan perubahan *duty ratio* dari saklar untuk suatu nilai tegangan *input*.

Dengan mengabaikan disipasi daya komponen, besarnya daya *input* P_d sama dengan daya *output* P_o

$$P_d = P_o \quad (2.8)$$

Sehingga

$$V_d I_d = V_o I_o \quad (2.9)$$

Dan

$$\begin{aligned} \frac{I_o}{I_d} &= \frac{V_d}{V_o} \\ &= \frac{1}{D} \end{aligned} \quad (2.10)$$

2.1.2 Boost Converter

Converter jenis ini menghasilkan tegangan *output* yang lebih besar dari pada tegangan *input*. Saat saklar *on*, dioda dibias mundur, *input* akan menyuplai energi ke induktor. Saat saklar *off* *output* mendapat energi dari induktor sama halnya seperti *input*. Pada kondisi stabil diasumsikan nilai kapasitansi sangat besar untuk memastikan agar tegangan *output* konstan.

Continuous Conduction Mode (CCM)

Gambar 2.5 menunjukkan rangkaian *boost converter* sedangkan Gambar 2.6 menunjukkan gelombang CCM pada keadaan stabil, dimana arus induktor mengalir secara kontinyu $I_L(t) > 0$. Pada keadaan stabil integral fungsi waktu dari tegangan induktor untuk satu periode waktu sama dengan nol, yang dinyatakan dalam persamaan:

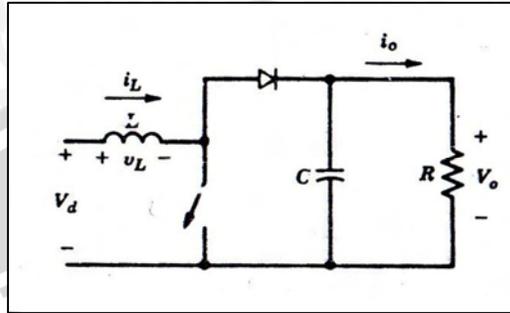
$$\begin{aligned} V_d t_{on} + (V_d - V_o) t_{off} \\ = 0 \end{aligned} \quad (2.11)$$

Dengan membagi kedua sisi dengan T_s didapat:

$$\begin{aligned} \frac{V_o}{V_d} &= \frac{T_s}{t_{off}} \\ &= \frac{1}{1 - D} \end{aligned} \quad (2.12)$$

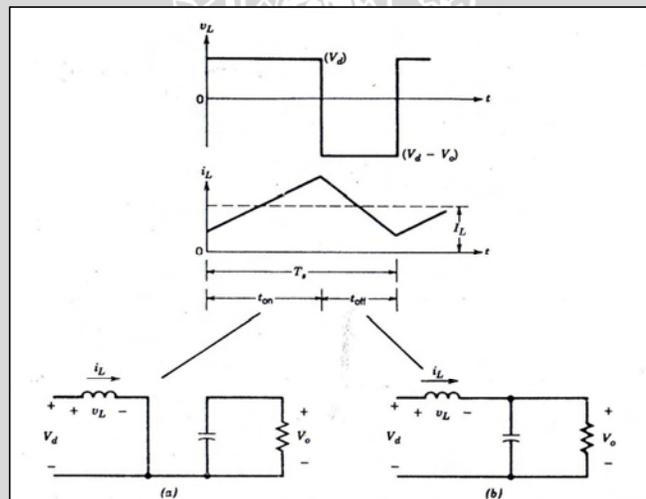
Dianggap bahwa $P_d = P_o$, $V_d I_d = V_o I_o$ maka:

$$\frac{I_o}{I_d} = (1 - D) \tag{2.13}$$



Gambar 2.5 Rangkaian *Boost Converter*

Sumber: Mohan, Undeland, Robbins, 1995:172



Gambar 2.6 Bentuk Gelombang CCM *Boost Converter*

Sumber: Mohan, Undeland, Robbins, 1995:173

2.2 Komponen Teknologi *Hybrid (Surface Mount Device)*

Komponen SMD baik yang pasif maupun aktif, memiliki fungsi yang tidak berbeda dengan komponen diskrit. Yang membedakan hanya pada proses pengemasannya saja. Karena SMD memiliki ukuran yang lebih kecil, maka SMD dapat menyediakan kepadatan kemasan yang lebih besar (Prasad, 1997:65).

Keuntungan lain dari teknologi *surface mount* tidak hanya dalam menghemat area *board*, tetapi juga dalam performa serta perakitan alat tersebut.

Lebih dari itu karena proses pengemasannya yang berbeda dari komponen diskrit pada umumnya, membuat komponen *surface mount* memiliki kerugian berupa kapasitansi dan induktansi yang lebih sedikit daripada komponen diskrit. Selain itu, pengemasan komponen dengan *surface mount* memiliki kelebihan karena dapat melindungi komponen yang ada didalamnya dari lingkungan luar, menyediakan jalur komunikasi yang lebih baik, menghilangkan panas, dan menawarkan kemudahan dalam penanganan maupun pengetesan komponen.

2.3 Komponen Pasif *Surface Mount*

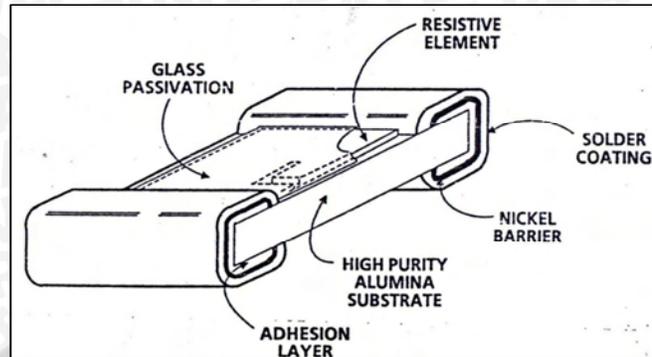
Komponen pasif yang terbentuk dalam teknologi ini adalah kapasitor keramik, kapasitor tantalum, dan resistor film tebal. Biasanya berbentuk segiempat dan silinder. Komponen ini memiliki berat 10 kali lebih ringan dari komponen diskrit, dan karena bentuknya yang tidak memiliki kaki (*leads*) membuat desain komponen *surface mount* memiliki keuntungan yaitu tahan getaran dan guncangan, juga mengurangi rugi akibat induktansi dan kapasitansi.

Penggunaan resistor dan kapasitor *surface mount* telah sangat luas di Jepang (otomotif dan konsumen elektronik) dan di industri elektronik otomotif di Amerika Serikat. Karena penggunaannya yang telah sangat luas inilah maka resistor dan kapasitor *surface mount* memiliki harga yang lebih murah daripada komponen diskrit biasa.

2.3.1 Resistor *Surface Mount*

Ada dua jenis resistor *surface mount* yaitu film tebal dan film tipis. Resistor *surface mount* film tebal dibentuk dengan teknik pencetakan pasta resistor di atas permukaan substrat alumina murni yang datar. Nilai resistansi diperoleh dengan memvariasikan komposisi pasta resistif sebelum penyablonan.

Pada resistor film tipis unsur resistif berupa film nikrom yang dipercikkan pada substrat alih-alih (sebagai ganti) proses penyablonan. Detail konstruksi dari resistor *surface mount* ditunjukkan dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Resistor *Surface Mount*

Sumber: Prasad 1997:68

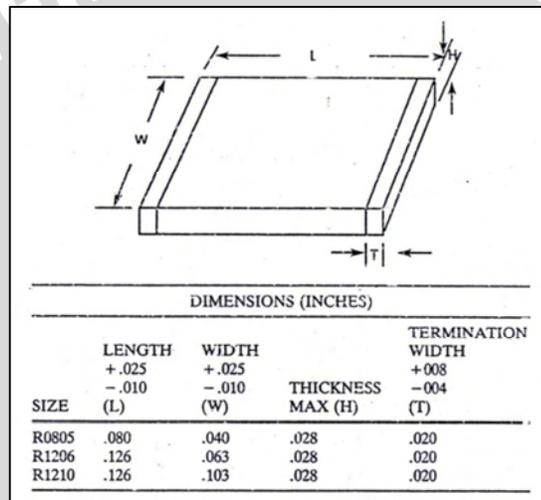
Gambar 2.7 menunjukkan unsur resistif pada substrat keramik dengan lapisan pelindung (*glass passivation*) pada permukaan atasnya dan terminal yang dapat disolder (*tin-lead*) pada sisi tepinya. Bagian terminal memiliki lapisan perekat (endapan perak berupa pasta film tebal) pada substrat keramik, dan pembatas nikel dibawah plat nya yang ditutupi oleh lapisan solder plat. Pembatas nikel penting gunanya untuk melindungi tepi solderan karena hal ini mencegah terjadinya pelarutan dari elektroda perak atau emas selama penyolderan.

Lapisan resistif pada permukaan atas dapat menghilangkan/mengurangi panas dan harus selalu dijauhkan dari permukaan substrat. Lapisan pelindung (*passivation layer*) sangat rapuh dan tidak boleh ditekan menggunakan ujung alat ukur (*probe*) yang keras selama proses pengetesan alat/komponen. Hal ini dapat menyebabkan rusak nya lapisan pelindung yang mengakibatkan lapisan resistif terkontaminasi lingkungan luar yang membuat turunnya kualitas dari resistor itu sendiri.

Resistor film tebal *surface mount* tersedia dalam berbagai macam toleransi (1%, 5%, 10% dan 20%). Sedang resistor film tipis dibuat untuk rangkaian dengan ketelitian tinggi yang memerlukan toleransi yang sangat kecil (<1%). Perbedaan kebutuhan toleransi ini menyebabkan adanya perbedaan harga di pasaran. Umumnya resistor dengan toleransi 1% memiliki harga yang lebih mahal dua kali lipat resistor dengan toleransi 5%.

Resistor *surface mount* memiliki ukuran yang beragam, mulai dari 1 ohm sampai 100 meg ohm dengan rating daya 1/16, 1/8, dan 1/4 watt. Resistor *surface*

mount memiliki beberapa bentuk lapisan resistif yang berwarna dengan lapisan pelindung pada salah satu sisinya dan material dasar berwarna putih pada sisi lainnya. Penampilan luar resistor itulah yang memudahkan untuk membedakan antara resistor dan kapasitor. Kapasitor juga memiliki warna yang sama pada kedua sisinya (biasanya coklat). Bagaimanapun juga terdapat perbedaan ketinggian antara kedua komponen tersebut, yaitu tebal resistor keramik setengah dari tebal kapasitor keramik. Asosiasi Industri Elektronik (EIA) telah mengeluarkan standarisasi bentuk mekanik baik resistor maupun kapasitor. Dimensi EIA untuk resistor ditunjukkan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Dimensi Resistor

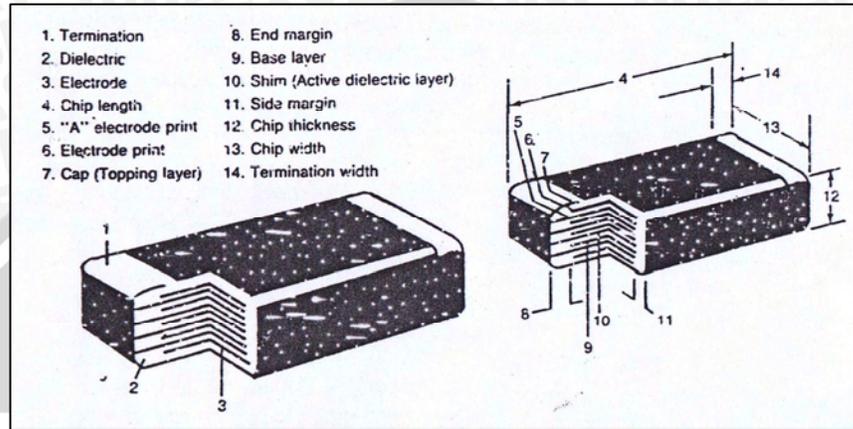
Sumber: Prasad 1997:69

2.3.2 Kapasitor Keramik

Pada aplikasi rangkaian frekuensi tinggi, penempatan kapasitor sedekat mungkin dengan komponen kecepatan tinggi (*high speed device*) sangatlah penting, selain itu penting juga untuk tetap menjaga panjang kaki/pin seminimum mungkin untuk mengurangi induktansi rangkaian. Kapasitor *surface mount* merupakan komponen ideal untuk mencapai tujuan tersebut, karena kapasitor *surface mount* tidak memiliki kaki (*lead*) dan dapat diletakkan di bawah permukaan kemasan pada sisi lain dari PCB (Paskard, 1997:71).

Konstruksi dari kapasitor keramik *multilayer* ditunjukkan dalam Gambar 2.9. Konstruksi terminal dari kapasitor serupa dengan resistor, dimana terdapat

lapisan pekat dan penghalang nikel untuk mencegah pelarutan. Jenis konstruksi kapasitor keramik ini menghasilkan komponen yang tahan guncangan yang dapat bertahan dalam lingkungan yang tidak kondusif sekalipun.



Gambar 2.9 Konstruksi Kapasitor Keramik *Multilayer*

Sumber: Prasad 1997:72

Kapasitor monolitik *surface mount* tersedia dalam tiga tipe dielektrik yang berbeda tiap EIA RS-198, yakni COG atau NPO, X7R, dan Z5U. Tiap tipe memiliki *range* kapasitansi yang berbeda-beda seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.10.

SIZE	COG/NPO	X7R	Z5U
C0805	10–560 pF	120 pF–0.012 μ F	—
C1206	608–1500 pF	0.015–0.033 μ F	0.033–0.10 μ F
C1812	1800–5600 pF	0.039–0.12 μ F	0.12–0.47 μ F

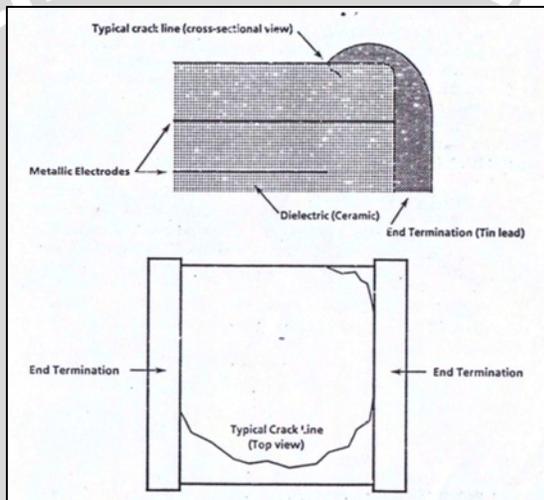
Gambar 2.10 *Range* Kapasitansi

Sumber: Prasad 1997:73

Kapasitor dielektrik COG atau NPO digunakan saat dibutuhkan stabilisasi yang tinggi pada temperatur, tegangan dan frekuensi yang bervariasi. Sedangkan kapasitor dielektrik X7R dan Z5U memiliki karakteristik temperatur dan tegangan yang lebih buruk, tetapi karena kebanyakan kapasitor tersebut digunakan untuk

aplikasi *bypass* dan *decoupling*, maka stabilitas kapasitansinya menjadi hal yang tidak begitu penting.

Kapasitor *surface mount* sangat dapat diandalkan dan telah digunakan dalam jumlah yang sangat besar pada aplikasi otomotif. Namun kapasitor keramik memiliki kecenderungan mudah pecah selama proses penyolderan. Penyebab utama pecahnya kapasitor keramik adalah pengaruh suhu yang berlebihan pada saat proses penyolderan serta buruknya kualitas kontrol yang dilakukan pabrikan komponen. Seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.11, kapasitor keramik memiliki sebuah elektroda metalik, material terminal, dan dielektrikum keramik.

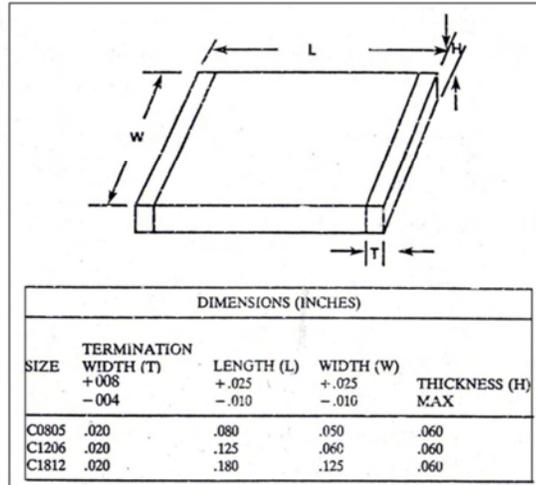


Gambar 2.11 Bagian Kapasitor yang Sering Pecah

Sumber: Prasad 1997:73

Masing-masing, memiliki koefisien suhu yang berbeda-beda. Selama proses pemanasan awal dan penyolderan, elektroda-elektroda dan terminal-terminal akan lebih cepat panas dibandingkan badan keramiknya, hal ini lah yang akan membuat kapasitor mudah pecah. Pengaruh suhu yang berlebihan ini dapat dikurangi dengan cara memanaskan *board* secara bertahap – sedikit demi sedikit – sebelum pabrikasi memasuki proses penyolderan.

Ukuran kapasitor keramik ditunjukkan dalam Gambar 2.12. Lebar terminal komponen adalah dimensi paling penting pada proses penyolderan dan desain tata letak.



Gambar 2.12 Dimensi Kapasitor Keramik

Sumber: Prasad 1997:75

2.4 Komponen Aktif *Surface Mount*: Kemasan Plastik

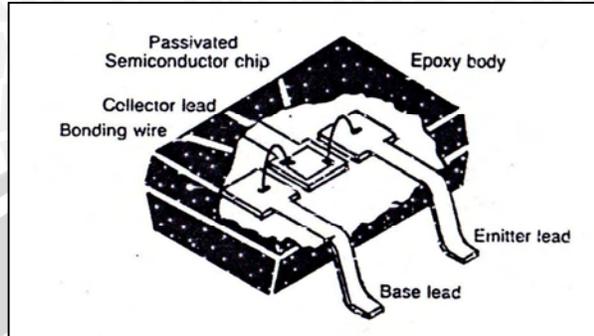
Beberapa komponen *surface mount* kemasan plastik memiliki kelembapan yang sensitif. Contohnya bila komponen tersebut mengandung kelembapan diatas ambang batas dan terkena temperatur penyolderan, kemungkinan kemasan tersebut akan pecah saat kelembapannya hilang. Kerentanan kemasan untuk pecah bergantung pada ketebalan kemasan plastik, kandungan kelembapannya, dan ukurannya.

Komponen aktif *surface mount* kemasan plastik yang paling umum di pasaran adalah transistor diskrit yang dikenal sebagai *small outline transistors* (SOTs), *small outline integrated circuits* (SOICs), *small outline devices with J leads* (SOJ), *plastic leaded chip carriers (PLCCs) with J leads*, dan *plastic quad flat packs* (PQFPs).

2.4.1 *Small Outline Transistor*

Small outline transistor merupakan salah satu pelopor komponen aktif *surface mounting*. Komponen ini tersedia dalam bentuk tiga kaki dan empat kaki. SOT 23 (EIA TO-236) dan SOT 89 (EIA TO-243) merupakan komponen tiga kaki SOTs. Sedangkan komponen empat kaki nya adalah SOT 143 (EIA TO-253). Kemasan tersebut biasa digunakan untuk diode dan transistor.

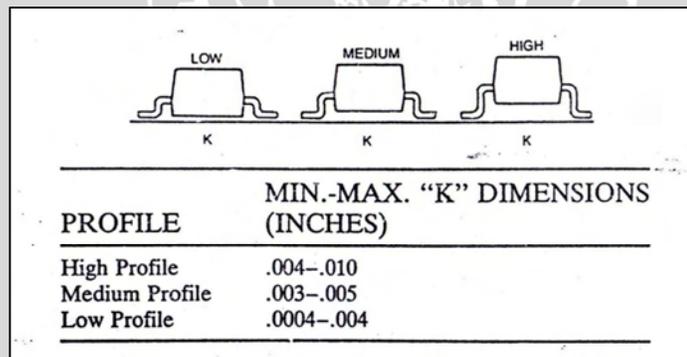
SOT 23 adalah komponen tiga kaki yang paling umum digunakan, bentuk SOT 23 ditunjukkan dalam Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Konstruksi Internal SOT 23

Sumber: Prasad 1997:90

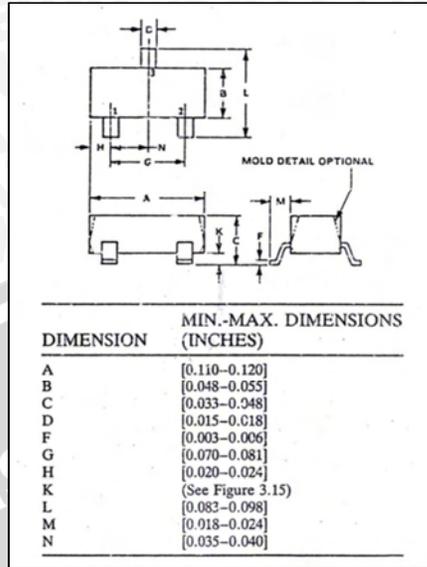
Kemasan ini dapat menampung ukuran maksimum 0,030 inci x 0,030 inci dan dapat mendisipasikan daya sebesar 200mW pada suhu ruang (normal) dan sampai 350mW saat dikenakan pada substrat keramik. Kemasan ini tersedia dalam bentuk rendah, sedang, dan tinggi seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Kemasan SOT 23

Sumber: Prasad, 1997:90

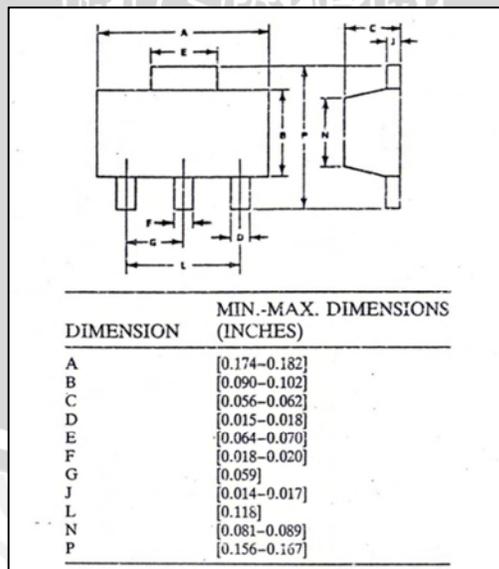
Kemasan yang tinggi sangat cocok untuk aplikasi pada PCB karena mampu memberikan tingkat kebersihan yang lebih baik. Dimensi kemasan SOT 23 ditunjukkan dalam Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Dimensi SOT 23

Sumber: Prasad, 1997:91

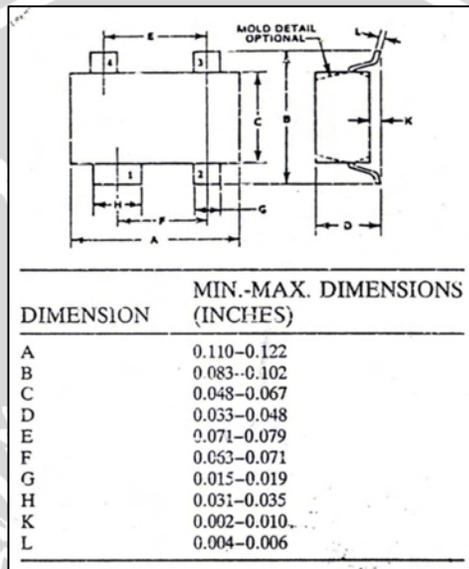
SOT 89 digunakan untuk peralatan berdaya tinggi. Untuk dapat lebih efisien memindahkan panas ke substrat, kemasan ini diletakkan sejajar pada permukaan substrat. Kemasan SOT 89 dapat menampung ukuran maksimum 0,060 inci x 0,060 inci. Pada suhu 25°C SOT 89 mampu mendisipasikan daya sebesar 500mW dan 1W saat dipasang pada substrat alumina. Dimensi luar dari SOT 89 ditunjukkan dalam Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Dimensi SOT 89

Sumber: Prasad 1997:92

Kemasan SOT 143 biasa digunakan dalam aplikasi transistor RF. Kemasan ini seperti SOIC tapi dengan jarak yang rendah dengan papan. Sama seperti kemasan SOT 23, kemasan SOT 143 mampu menampung ukuran 0,025 inci x 0,025 inci. Bentuk fisik kemasan SOT 143 ditunjukkan dalam Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Dimensi SOT 143

Sumber: Prasad 1997:93

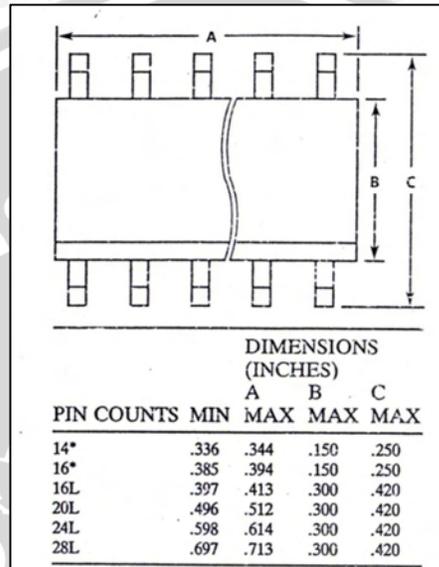
2.4.2 Small Outline Integrated Circuits

Small outline integrated circuit (SOIC atau disingkat SO) pada dasarnya adalah kemasan DIP yang disusutkan dengan ukuran kaki 0,050 inci. Kemasan ini memiliki kaki pada kedua sisinya yang biasa disebut kaki *gull wing*.

Bila dibandingkan dengan kemasan *J-lead*, kemasan SOs memerlukan penanganan yang lebih hati-hati untuk mencegah rusaknya kaki komponen. Dibandingkan PLCCs, SOs memberikan tata letak yang lebih hemat untuk jumlah pin dibawah 20, juga sambungan solder yang lebih mudah diperiksa. SOs tersedia dalam bentuk 8, 14, 16, 20,24, dan 28 kaki.

Kemasan SOIC memiliki dua macam ukuran lebar, 150 dan 300 mili. Kemasan dengan jumlah kaki kurang dari 16 tergolong dalam ukuran 150 mili, sedang untuk jumlah kaki lebih dari 16 tergolong dalam ukuran 300 mili.

Kemasan ukuran 300 mili ditandai dengan akhiran “L”, seperti: 16 SOL, atau 18 SOL. Kemasan dengan ukuran kecil juga dikenal sebagai JEDEC MS-012 AA-AC, sedang untuk ukuran yang lebar dikenal sebagai JEDEC MS-013. Ada juga SOICs dengan lebar 330 mili yang biasa digunakan pada RAM statis. Dimensi ukuran kemasan SOIC ditunjukkan dalam Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Dimensi Kemasan SOIC

Sumber: Prasad 1997:94

Pada PLCCs proses *wave soldering* tidak begitu efektif karena keandalan kemasan tidak dapat dipertahankan karena tingginya temperatur pada proses *wave soldering*. Selain itu, kemungkinan fluks yang digunakan dalam *wave soldering* akan merembes ke dalam kemasan dan hal ini dikhawatirkan dapat merusak keandalan komponen.

2.5 Keuntungan Penggunaan Teknologi *Surface Mounting*

Teknologi film tebal sering digunakan dalam dunia industri karena memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan teknologi diskrit (konvensional). Keuntungan teknologi *surface mounting* (SMT) dibandingkan teknologi konvensional dengan menggunakan komponen diskrit dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Meningkatkan keandalan komponen

Banyaknya titik solder pada teknologi diskrit mengakibatkan komponen tidak bekerja secara optimal akibat adanya hambatan elektrik pada titik solder dan timbulnya masalah disipasi daya (panas). Masalah banyaknya titik solder dan disipasi panas ini dieliminasi pada teknologi film tebal dengan jalan membuat komponen yang terintegrasi pada suatu substrat/PCB sehingga tidak diperlukan lagi penyolderan antar komponen, sehingga bahaya yang timbul bisa dikurangi dan hal ini akan mengakibatkan umur komponen semakin panjang.

- 2) Pengecilan ukuran, berat, dan volume komponen atau rangkaian

Dengan teknologi *surface mounting* (SMT), ukuran-ukuran komponen diskrit bisa direduksi $\pm 50\%$ - 65% , sehingga ukuran komponen menjadi lebih kecil. Dengan ukuran komponen yang lebih kecil otomatis berat dan volume rangkaian akan jauh berkurang bila dibandingkan dengan teknologi diskrit.

- 3) Kemampuan kerja pada tegangan dan daya tinggi

Hal ini disebabkan material keramik memiliki tegangan *breakdown* yang jauh lebih tinggi bila dibandingkan dengan PCB.

- 4) Disipasi termal

Kemampuan substrat keramik melepaskan panas yang ditimbulkan rangkaian lebih baik bila dibandingkan PCB sehingga rangkaian bisa bekerja pada suhu yang tinggi dan rangkaian bisa dibuat lebih padat (*compact*) dengan nilai toleransi yang sangat kecil.

Dengan menggunakan laser *trimmer* pada resistor film tebal, maka bisa didapat nilai toleransi yang relatif kecil ($0,25\%$ - 1%) bila dibandingkan dengan toleransi resistor diskrit (5% - 20%). Dengan harga toleransi yang kecil ini maka kemampuan kerja komponen maupun rangkaian secara keseluruhan akan semakin baik.

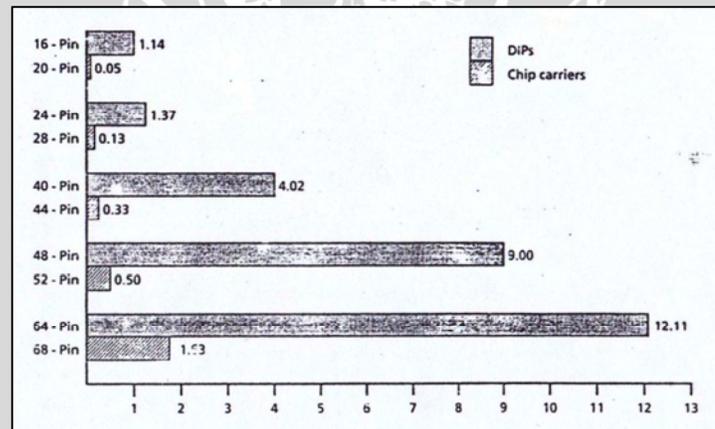
- 5) Nilai resistor yang bervariasi (tidak standar)

Melalui pemangkasan (*trim*) dengan laser *trimmer* dapat dihasilkan nilai resistansi resistor sesuai dengan yang diinginkan. Hal ini tidak bisa dijumpai pada resistor diskrit, karena nilai resistansinya sudah ditentukan oleh pabrik. Nilai resistansi resistor film tebal berada pada *range* 0,1 Ω -1G Ω .

6) Biaya produksi yang relatif rendah

Dengan sedikitnya penggunaan komponen pasif pendukung (karena sudah terintegrasi dalam substrat atau PCB) dalam membentuk rangkaian, maka biaya produksi dapat ditekan serendah mungkin.

Karena ukurannya yang kecil, komponen *surface mount* dapat dipasang pada kedua belah sisi *board*. Teknologi *surface mount* memiliki keuntungan baik dari segi desain maupun pabrikasinya. Yang paling penting diantaranya adalah penghematan berat dan area pemasangan serta pengurangan *noise*. Seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.19, komponen *surface mount* dapat diperkecil sampai ukuran sepersepuluh dari ukuran komponen diskritnya.

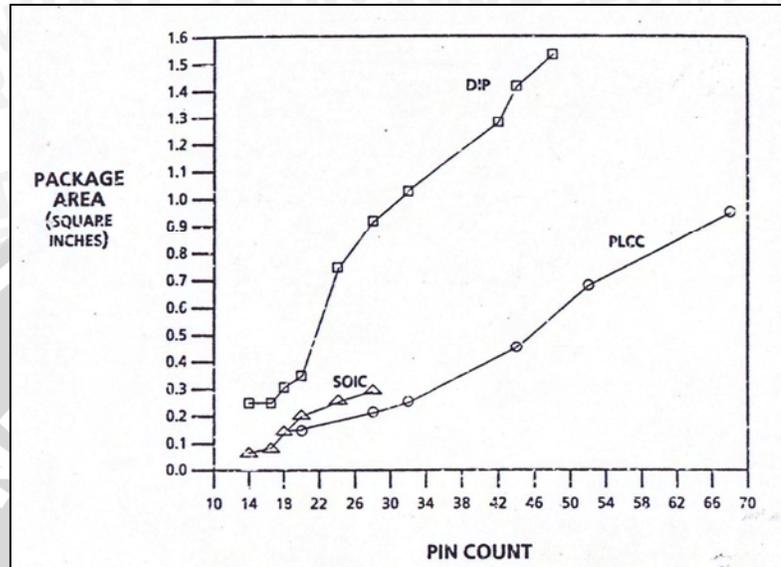


Gambar 2.19 Perbandingan Ukuran Komponen SMT

Sumber: Prasad, 1997:11

Hal ini tentu saja menyebabkan pengurangan yang signifikan pada proses perakitan *surface mount*. Karena ukurannya yang kecil, komponen *surface mount* hanya membutuhkan setengah sampai sepertiga tempat pada *board* PCB.

Perbandingan besar area papan yang digunakan oleh DIP, PLCC, dan kemasan SOIC ditunjukkan dalam Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Perbandingan Ukuran Board

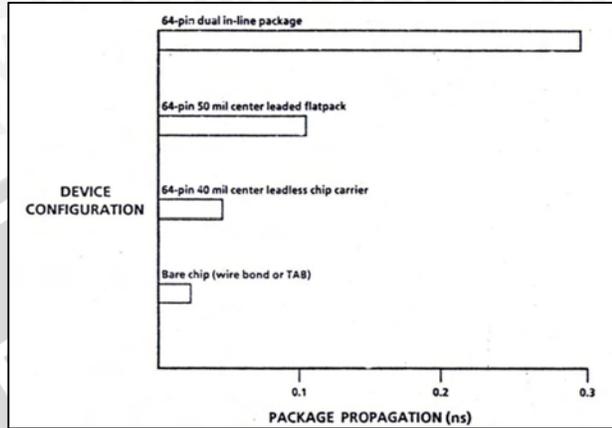
Sumber: Prasad, 1997:12

Pengurangan ukuran pada komponen aktif merupakan fungsi langsung dari *lead pitch*, suatu istilah yang menunjukkan jarak antara pusat kaki yang berdekatan. Komponen aktif *surface mount* memiliki jarak antar kaki sekitar 0,050 inci (50 mili) atau kurang. Dengan kata lain *lead pitch*-nya sebesar 50 mili atau kurang. Biasanya kemasan yang memiliki *lead pitch* kurang dari 50 mili adalah kemasan yang baik. Umumnya kemasan yang baik memiliki *lead pitch* sebesar 33 dan 25 mili. Sebagai bandingan, ukuran *lead pitch* untuk DIP adalah 100 mili.

Pengurangan ukuran juga merupakan salah satu fungsi *surface mount*, sebab tidak semua komponen tersedia dalam bentuk *surface mount*. Sehingga penghematan area PCB bergantung pada persentasi komponen diskrit yang diganti oleh komponen *surface mount*.

Teknologi *surface mount* juga memiliki ketahanan getaran yang lebih baik karena berat komponen yang dihasilkan lebih kecil. Juga karena bentuk kakinya yang lebih pendek, kemasan *surface mount* memiliki induktansi dan kapasitansi

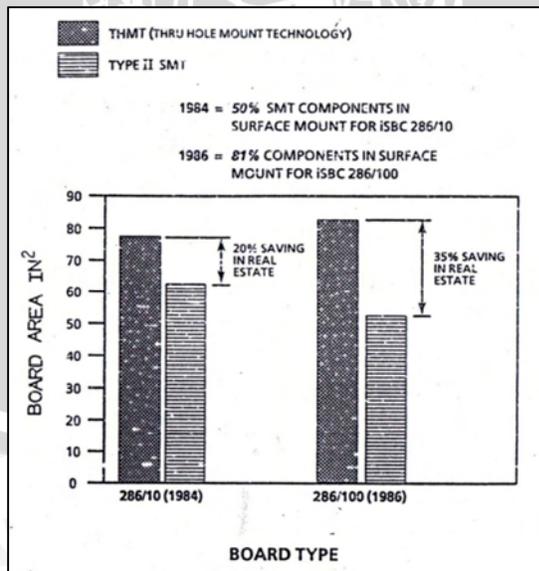
yang lebih rendah daripada komponen diskritnya. Hal ini menghasilkan berkurangnya *delay* propagasi dan *noise* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.21.



Gambar 2.21 Delay Propagasi

Sumber: Prasad, 1997:17

Teknologi *surface mount* juga memiliki keuntungan pabrikasi yang banyak, diantaranya, menekan harga *board*, menekan harga perawatan komponen, dan proses pabrikasi yang lebih terkontrol. Ukuran *board* menjadi lebih kecil karena berkurangnya jumlah lubang untuk pemasangan kaki komponen, sehingga harganya menjadi lebih murah. Perbandingan ukuran *board* ditunjukkan dalam Gambar 2.22.



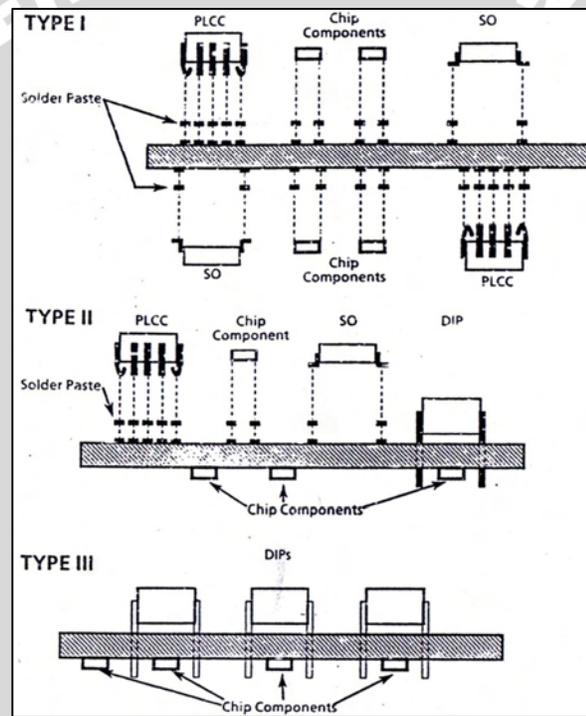
Gambar 2.22 Perbandingan Ukuran Board

Sumber: Prasad, 1997:16

Selain itu karena proses fabrikasi komponen *surface mount* yang sebagian besar menggunakan mesin otomatis sehingga lebih mudah untuk dikontrol, membuat komponen *surface mount* lebih jarang rusak bila dibandingkan komponen diskrit.

2.6 Berbagai Macam Tipe *Surface Mounting*

Komponen *surface mount* baik pasif maupun aktif, ketika terpasang pada substrat, akan membentuk tiga macam tipe perakitan SMT yang dikenal sebagai tipe I, tipe II, dan tipe III seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.23. Tiap tipe memiliki rangkaian proses yang berbeda serta peralatan yang berbeda juga.



Gambar 2.23 Tiga Prinsip Perakitan SMT

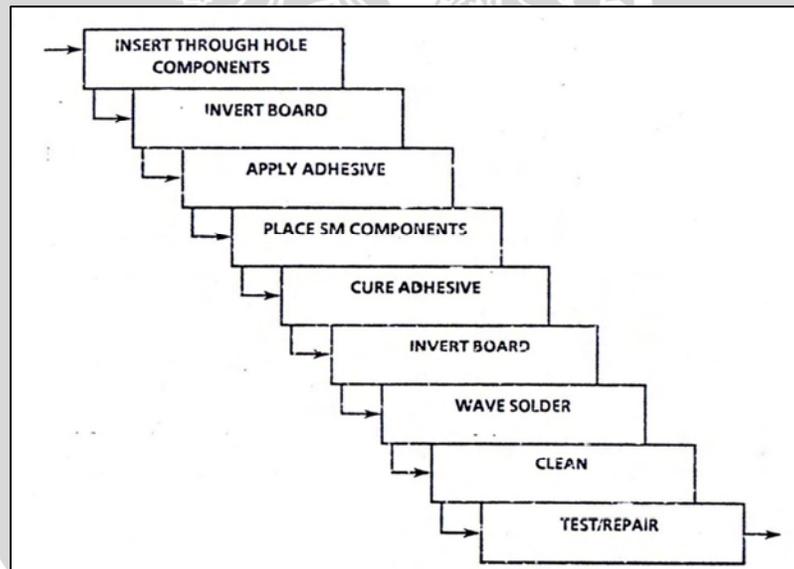
Sumber: Prasad, 1997:8

Perakitan SMT tipe III hanya meliputi komponen diskrit *surface mount* (resistor, kapasitor, transistor) yang dipasang pada sisi bawah. Sedang untuk perakitan SMT tipe I hanya meliputi komponen *surface mount*. Perakitan SMT tipe II merupakan gabungan dari tipe I dan tipe III. Pada SMT tipe II umumnya

tidak mengandung komponen aktif *surface mount* pada sisi bawahnya tapi komponen diskrit *surface mount* yang dipasang pada sisi bawah.

1) SMT tipe III

Urutan proses SMT tipe III ditunjukkan dalam Gambar 2.24. Pertama komponen *through-hole* dimasukkan secara otomatis dan dikeling menggunakan alat pemasang *through-hole*. Kemudian lem perekat diberikan. Selanjutnya komponen *surface mount* diletakkan pada mesin *pick and place*, lem perekat diuapi pada oven *infrared*, dan komponen *surface mount* disolder dengan metode gelombang (*wave soldering*). Selama proses penyolderan komponen diskrit pada bagian bawah *board* tidak jatuh karena telah ditahan oleh lem perekat. Bila tidak menggunakan alat pemasang otomatis maka kaki komponen tidak perlu dikeling, dan urutan proses harus dibalik. Lem perekat diberikan, komponen diskrit *surface mount* diset pada tempatnya, lem perekat diuapi, semua komponen *through-hole* dipasang manual, kemudian disolder, dibersihkan, dan dites.



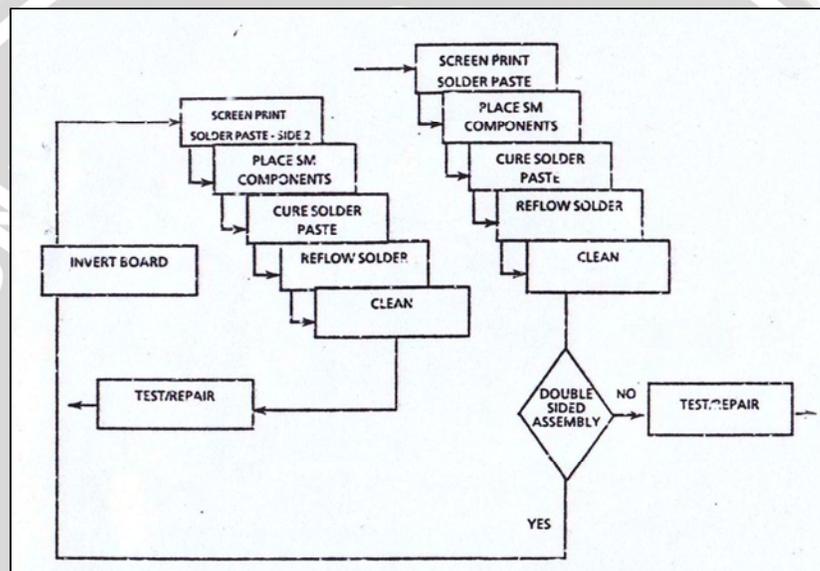
Gambar 2.24 Proses SMT Tipe III

Sumber: Prasad, 1997:9

2) SMT tipe I

Urutan proses SMT tipe I ditunjukkan dalam Gambar 2.25. Perakitan tipe I tidak menggunakan komponen *through-hole*. Pertama pasta solder

disablon, komponen ditempatkan, kemudian dibakar menggunakan oven infrared untuk menghilangkan kotoran dari pasta solder. Terakhir adalah proses penyolderan kemudian dibersihkan menggunakan cairan pembersih. Untuk perakitan dua sisi (*double-sided*) board akan dibalik dan urutan prosesnya sama dengan sebelumnya. Sambungan solder (*solder joints*) pada bagian atas board akan diulang lagi. Selama pengulangan, komponen dipasang pada tempatnya dan disolder ulang, hal ini untuk mencegah agar komponen tidak jatuh pada saat board dibalik.



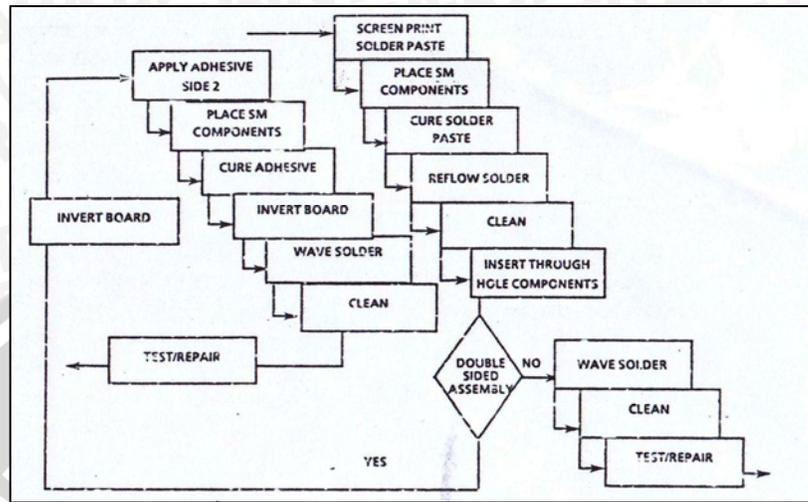
Gambar 2.25 Proses SMT Tipe I

Sumber: Prasad, 1997:10

3) SMT tipe II

Urutan proses SMT tipe II diunjukkan dalam Gambar 2.26. Karena perakitan tipe II merupakan kombinasi dari tipe I dan tipe III, maka diperlukan keseluruhan proses gabungan dari keduanya. Pabrikasi tipe ini adalah yang paling sulit karena memiliki paling banyak proses. Urutan proses perakitan tipe II diawali dengan perakitan tipe I yang kemudian dilanjutkan dengan perakitan tipe III. Pada tipe II tidak terdapat komponen diskrit *surface mount* pada bagian bawah board, sehingga urutan proses pemasangan komponen pada bagian bawah board yang ada pada proses tipe III bisa dihilangkan, namun perakitannya tetap menggunakan dua macam

penyolderan. *Reflow soldering* pada bagian atas untuk komponen aktif dan *wave soldering* untuk komponen *through-hole* juga pada bagian atas.



Gambar 2.26 Proses SMT Tipe II

Sumber: Prasad, 1997:11

2.7 Motor DC

Motor dc adalah mesin dc yang digunakan sebagai motor (Chapman, 1991:318). Sama halnya seperti generator dc yang mengacu pada pengaturan tegangan keluarannya, motor dc mengacu pada pengaturan kecepatan putaran yang dihasilkan. Pengaturan kecepatan pada motor dc didefinisikan sebagai:

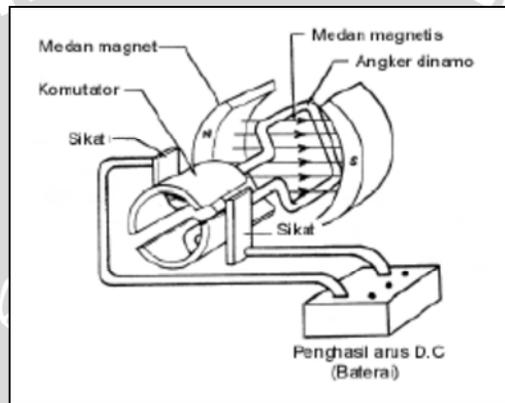
$$SR = \frac{\omega_{nl} - \omega_{fl}}{\omega_{fl}} \times 100\% \quad (2.14)$$

$$SR = \frac{n_{nl} - n_{fl}}{n_{fl}} \times 100\% \quad (2.15)$$

Ini adalah penghitungan kasar karakteristik torsi vs kecepatan dari motor dc. Pengaturan kecepatan akan bernilai positif (+) bila kecepatan motor turun dengan penambahan beban, dan bernilai negative (-) bila kecepatan motor bertambah dengan bertambahnya beban. Bisa dikatakan besar kecilnya pengaturan kecepatan menunjukkan curam tidaknya lereng dari kurva torsi vs kecepatan.

Motor dc digerakkan menggunakan catu daya dc (Chapman, 199:320). Tegangan input motor dc diasumsikan konstan untuk memudahkan analisa dan perbandingan diantara berbagai macam jenis motor dc.

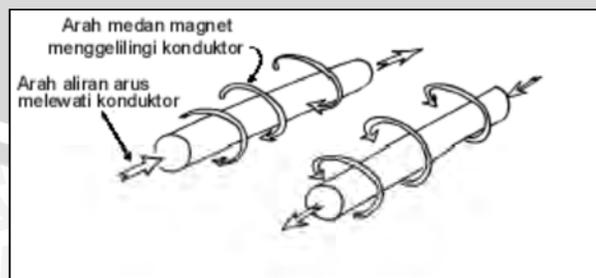
Kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam pada medan magnet, maka akan timbul tegangan (ggl) yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik. Bentuk motor paling sederhana memiliki kumparan satu lilitan yang bisa berputar bebas diantara kutub-kutub magnet permanen ditunjukkan dalam Gambar 2.27.



Gambar 2.27 Motor DC Sederhana
 Sumber: www.energyefficiencyasia.org

2.7.1 Prinsip Kerja Motor DC

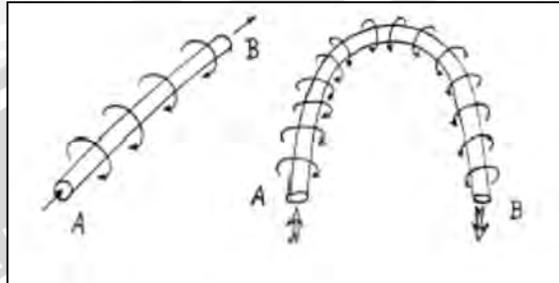
Jika arus lewat pada suatu konduktor, timbul medan magnet di sekitar konduktor. Arah medan magnet ditentukan oleh arah aliran arus pada konduktor. Ilustrasi arah arus ditunjukkan dalam Gambar 2.28.



Gambar 2.28 Medan Magnet yang Membawa Arus Mengelilingi Konduktor

Sumber: www.energyefficiencyasia.org

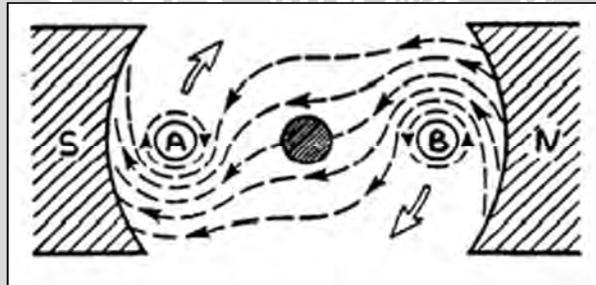
Aturan genggaman tangan kanan dapat dipakai untuk menentukan arah garis *fluks* disekitar konduktor. Genggam konduktor dengan tangan kanan dengan jempol mengarah pada arah aliran arus, maka jari-jari akan menunjukkan arah garis fluks. Medan magnet yang terbentuk ditunjukkan dalam Gambar 2.29.



Gambar 2.29 Medan Magnet yang Mengelilingi Konduktor

Sumber: www.energyefficiencyasia.org

Jika konduktor berbentuk U diletakkan diantara kutub utara dan selatan yang kuat, medan magnet konduktor akan berinteraksi dengan medan magnet kutub, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.30.



Gambar 2.30 Reaksi Garis Fluks

Sumber: www.energyefficiencyasia.org

Lingkaran bertanda A dan B merupakan ujung konduktor yang dilengkungkan. Arus mengalir masuk melalui ujung A dan keluar melalui ujung B.

Medan konduktor A yang searah jarum jam akan menambah medan pada kutub dan menimbulkan medan yang kuat di bawah konduktor. Konduktor akan berusaha bergerak ke atas untuk keluar dari medan kuat ini. Medan konduktor B yang berlawanan arah jarum jam akan menambah medan pada kutub dan menimbulkan medan yang kuat di atas konduktor. Konduktor akan berusaha

untuk bergerak turun agar keluar dari medan yang kuat tersebut. Gaya-gaya tersebut akan membuat angker dinamo berputar searah jarum jam.

Mekanisme kerja motor secara umum:

- 1) Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya
- 2) Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran/*loop*, maka kedua sisi *loop*, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan
- 3) Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/torsi untuk memutar kumparan
- 4) Motor-motor memiliki beberapa *loop* pada dinamonya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan

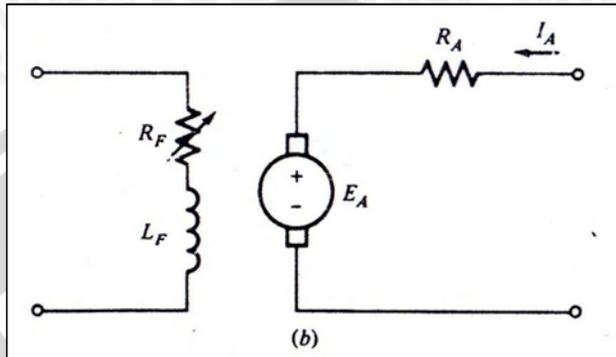
Pada prinsipnya mesin listrik dapat bekerja sebagai motor maupun sebagai generator. Perbedaannya hanya terletak dalam konversi dayanya. Generator adalah suatu mesin listrik yang merubah daya mekanik menjadi menjadi daya listrik, sebaliknya motor mengubah daya listrik menjadi daya mekanik. Dengan membalik generator arus searah dimana tegangan sumber V_t dan tegangan jangkar E_a merupakan ggl lawan, mesin arus searah akan berlaku sebagai motor. Hubungan antara tegangan V_t dan E_a dapat dituliskan:

$$E_a = V_t - I_a R_a \quad (2.16)$$

Saat motor pertama kali dijalankan, kecepatan dan tegangan induksi E_a masih sama dengan nol. Dari persamaan 2.16 untuk $E_a = 0$ dan R_a kecil, arus I_a yang mengalir besar sekali. Untuk membatasi arus jangkar (I_a) yang sangat besar pada waktu *start* perlu diberikan tahanan mula yang dipasang seri terhadap tahanan jangkar (R_a). Selanjutnya secara perlahan tegangan induksi dibangkitkan dan rotor mulai berputar. Bersamaan dengan berputarnya rotor tahanan mula harus diturunkan.

2.7.2 Rangkaian Ekuivalen Motor DC

Karena bentuk fisik motor dc sama dengan generator dc, maka rangkaian ekivalennya sama persis, kecuali arah aliran arusnya. Bentuk rangkaian ekivalen dari motor dc ditunjukkan dalam Gambar 2.31.



Gambar 2.31 Rangkaian Ekuivalen Motor DC

Sumber: Chapman, 1991:320

Tegangan dalam yang dihasilkan pada mesin memiliki persamaan:

$$\begin{aligned} E_A \\ &= K\Phi\omega \end{aligned} \quad (2.17)$$

Dan torsi induksi yang dihasilkan oleh mesin adalah:

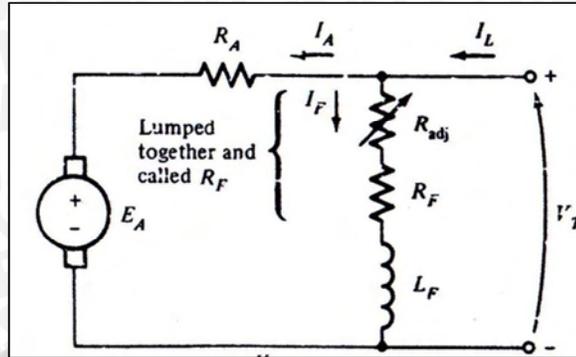
$$\begin{aligned} \tau_{ind} \\ &= K\Phi I_A \end{aligned} \quad (2.18)$$

2.8 Motor DC Shunt

Motor dc *shunt* adalah motor dc yang rangkaian medannya mendapat daya langsung melalui terminal jangkar motor. Persamaan hukum Kirchoff tegangan untuk rangkaian jangkar pada motor dc *shunt* adalah:

$$\begin{aligned} V_T \\ &= E_A \\ &+ R_A I_A \end{aligned} \quad (2.19)$$

Sedangkan rangkaian ekivalen motor dc *shunt* ditunjukkan dalam Gambar 2.32



Gambar 2.32 Rangkaian Ekuivalen Motor DC Shunt

Sumber: Chapman, 1991:322

2.8.1 Karakteristik Terminal Motor DC Shunt

Karakteristik terminal motor dc *shunt* merupakan perbandingan jumlah output mesin dengan parameter lainnya. Pada motor, jumlah output adalah torsi as dan kecepatan, jadi karakteristik terminal motor merupakan perbandingan torsi output terhadap kecepatan.

Dianggap beban pada as motor dc *shunt* bertambah, maka torsi beban τ_{load} akan melampaui torsi induksi mesin τ_{ind} dan motor akan mulai melambat. Pada saat motor mulai melambat, tegangan internal motor akan jatuh pada $E_A = K\Phi\omega \downarrow$ sehingga arus jangkar pada motor $I_A = (V_T - E_A \downarrow)/R_A$ bertambah. Pada saat arus jangkar naik, torsi induksi dalam motor bertambah $\tau_{ind} = K\Phi I_A \uparrow$ dan pada akhirnya torsi induksi akan sama dengan torsi beban pada saat kecepatan rotasi mesin (ω) rendah.

Karakteristik output dari motor dc *shunt* dapat diturunkan dari persamaan tegangan induksi dan torsi motor ditambah hukum tegangan Kirchoff. Sehingga persamaannya menjadi:

$$\begin{aligned} V_T &= E_A \\ &+ R_A I_A \end{aligned} \tag{2.20}$$

$E_A = K\Phi\omega$ sehingga:

$$\begin{aligned} V_T &= K\Phi\omega \\ &+ R_A I_A \end{aligned} \tag{2.21}$$

Karena

$\tau_{ind} = K\Phi I_A$ arus I_A dapat ditulis:

$$I_A = \frac{\tau_{ind}}{K\Phi} \quad (2.22)$$

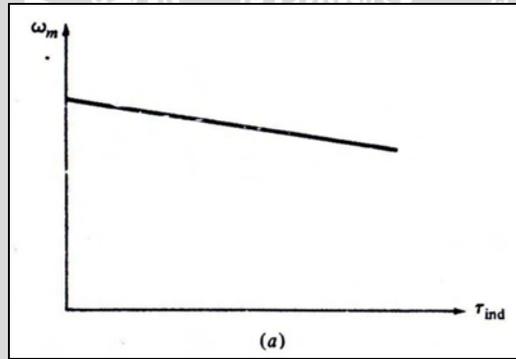
Dengan menggabungkan persamaan 2.21 dan 2.22 didapat:

$$V_T = K\Phi\omega + \frac{\tau_{ind}}{K\Phi} R_A \quad (2.23)$$

Akhirnya penyelesaian kecepatan motor adalah:

$$\omega = \frac{V_T}{K\Phi} - \frac{R_A}{(K\Phi)^2} \tau_{ind} \quad (2.24)$$

Karakteristik torsi motor dc *shunt* ditunjukkan dalam Gambar 2.33

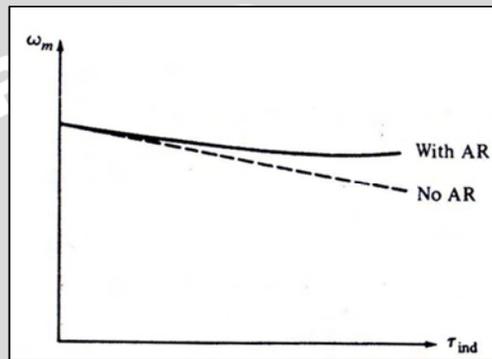


Gambar 2.33 Karakteristik Torsi vs Kecepatan Motor DC Shunt

Sumber: Chapman, 1991:323

Agar didapat perubahan kecepatan motor yang linear terhadap torsi, penting disadari bahwa kondisi lain pada persamaan diatas haruslah konstan seperti halnya perubahan beban. tegangan terminal yang disuplai oleh catu daya dc diasumsikan konstan, jika tidak maka akan mempengaruhi bentuk kurva torsi vs kecepatan.

Efek lain yang dapat mempengaruhi bentuk kurva torsi vs kecepatan adalah reaksi jangkar. Jika motor memiliki reaksi jangkar, kemudian beban bertambah, efek pelemahan fluks akan mengurangi fluks motor. Seperti yang ditunjukkan oleh persamaan 2.24, efek dari pengurangan fluks adalah untuk menambah kecepatan motor pada beban berapapun, sehingga motor akan tetap berjalan tanpa reaksi jangkar. Karakteristik torsi vs kecepatan dari motor dc *shunt* dengan reaksi jangkar ditunjukkan dalam Gambar 2.34



Gambar 2.34 Karakteristik Torsi vs Kecepatan dengan Reaksi Jangkar

Sumber: Chapman, 1991:323

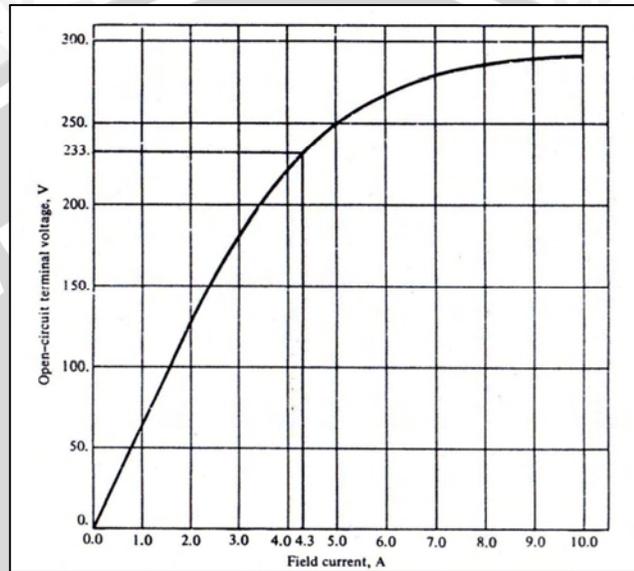
Apabila motor memiliki gulungan tambahan, tidak akan terjadi pelemahan fluks di mesin, dan fluks mesin akan konstan.

Jika salah satu dari kecepatan motor dan arus jangkar pada salah satu nilai beban diketahui, maka dapat dihitung kecepatan motor pada nilai beban yang lain, selama arus jangkar pada beban tersebut diketahui.

Kurva magnetisasi dari motor dc umum 250V yang sedang bergerak pada kecepatan 1200r/min ditunjukkan dalam Gambar 2.35. Seperti kurva magnetisasi pada umumnya, kurva ini merupakan bentuk E_A vs I_A pada kecepatan tetap. Karena pada kenyataannya kecepatan dari motor dc bervariasi, perlu adanya koreksi perbedaan kecepatan antara motor dc riil dan teori pada saat menggunakan kurva magnetisasi. Untuk dapat menghitung perbedaan kecepatan dari motor dc teori dan motor dc yang riil pada waktu menggunakan kurva magnetisasi, dapat digunakan persamaan berikut:

$$\frac{E_A}{E_{A0}} = \frac{n}{n_0} \quad (2.25)$$

Disini E_A adalah tegangan internal pada kecepatan n dan E_{A0} adalah tegangan internal pada kecepatan referensi dari kurva magnetisasi n_0 .



Gambar 2.35 Kurva Magnetisasi Motor DC

Sumber: Chapman,1991:327

2.8.2 Pengendalian Kecepatan Motor DC Shunt

Ada dua metode umum yang biasa dipakai dan satu metode yang jarang dipakai dalam mengendalikan kecepatan motor dc, yaitu:

- 1) Mengatur tahanan medan R_F
- 2) Mengatur tegangan terminal yang dikenakan ke jangkar
- 3) Menambahkan tahanan secara seri ke tahanan jangkar

Mengubah Tahanan Medan

Untuk memahami apa yang terjadi saat tahanan medan motor dc berubah, asumsikan tahanan medan meningkat dan amati perubahannya. Apabila tahanan medan meningkat, maka arus medan menurun ($I_F \downarrow = V_T/R_F \uparrow$) dan pada saat arus medan menurun, fluks Φ juga turun. Penurunan fluks menyebabkan turunya

teganan internal saat itu juga $E_A = K\Phi \downarrow \omega$ yang mana menyebabkan peningkatan besar-besaran pada arus jangkar mesin, karena:

$$I_A \uparrow = \frac{V_T - E_A \downarrow}{R_A} \quad (2.26)$$

Torsi induksi motor adalah $\tau_{ind} = K\Phi I_A$. Karena fluks Φ mesin menurun saat arus I_A meningkat maka torsi induksi akan naik pada:

$$\tau_{ind} = K\Phi I_A \quad (2.27)$$

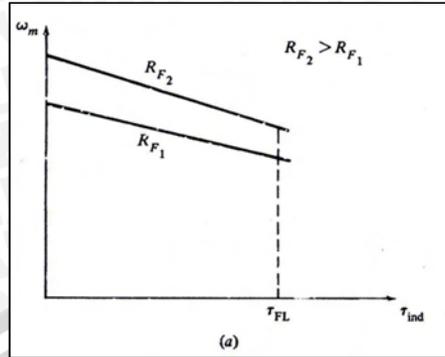
Karena $\tau_{ind} > \tau_{load}$ kecepatan motor meningkat.

Bagaimanapun juga bersamaan dengan naiknya kecepatan motor tegangan E_A naik, dan menyebabkan I_A turun. Dengan turunnya I_A torsi induksi τ_{ind} juga turun, dan akhirnya $\tau_{ind} = \tau_{load}$.

Untuk menyimpulkan perilaku sebab-akibat yang timbul dari metode pengontrolan kecepatan ini adalah:

- 1) Naiknya R_F menyebabkan I_F turun
- 2) Turunnya I_F = turunnya fluks Φ
- 3) Turunnya Φ = turunnya E_A
- 4) Turunnya E_A = naiknya I_A
- 5) Naiknya I_A = naiknya τ_{ind}
- 6) Naiknya τ_{ind} membuat $\tau_{ind} > \tau_{load}$ dan naiknya kecepatan ω
- 7) Naiknya ω = naiknya E_A
- 8) Naiknya E_A = turunnya I_A
- 9) Turunnya I_A = turunnya τ_{ind} sampai $\tau_{ind} = \tau_{load}$ pada kecepatan ω tinggi.

Efek dari naiknya resistansi medan pada karakteristik output motor dc *shunt* ditunjukkan dalam Gambar 2.36.

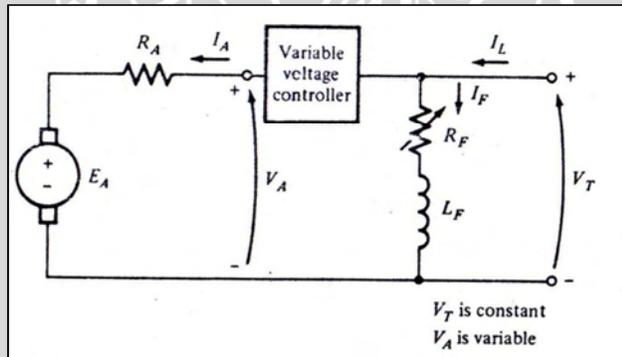


Gambar 2.36 Efek Resistansi

Sumber: Chapman, 1991:331

Merubah Tegangan Jangkar

Bentuk kedua dari pengendalian kecepatan motor *shunt* adalah dengan merubah tegangan yang dikenakan pada jangkar motor namun tanpa merubah tegangan yang dikenakan pada medan. Bentuk rangkaiannya ditunjukkan dalam Gambar 2.37. Untuk dapat menggunakan metode pengendalian tegangan jangkar motor harus dijadikan motor sumber daya terpisah.



Gambar 2.37 Rangkaian Pengendalian Tegangan Jangkar

Sumber: Chapman, 1991:332

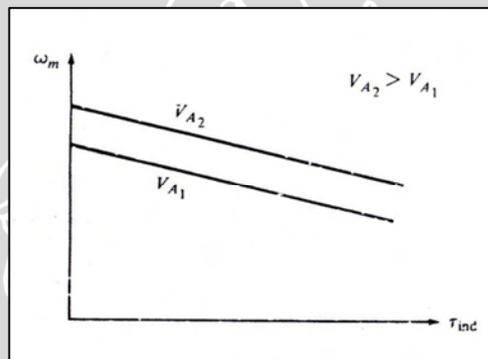
Jika tegangan V_A naik, maka arus jangkar pada motor harus naik ($I_A = (V_A \uparrow - E_A)/R_A$). Saat I_A naik, torsi induksi τ_{ind} naik, dan membuat $\tau_{ind} > \tau_{load}$ dan kecepatan motor ω juga naik.

Namun saat kecepatan motor naik, tegangan internal motor ikut naik, menyebabkan arus jangkar turun. Penurunan arus jangkar menyebabkan torsi induksi juga turun, sehingga $\tau_{ind} = \tau_{load}$ pada saat kecepatan rotasi ω tinggi.

Sehingga dapat disimpulkan perilaku sebab akibat pada metode pengendalian kecepatan ini adalah sebagai berikut:

- 1) V_A naik, I_A naik
- 2) I_A naik, τ_{ind} naik
- 3) τ_{ind} naik, menyebabkan $\tau_{ind} > \tau_{load}$, ω ikut naik
- 4) ω naik, E_A ikut naik
- 5) E_A naik, I_A turun
- 6) I_A turun, τ_{ind} turun sampai $\tau_{ind} = \tau_{load}$ pada kecepatan motor tinggi

Efek dari naiknya V_A pada karakteristik torsi vs kecepatan, pada motor sumber daya terpisah ditunjukkan dalam Gambar 2.38.

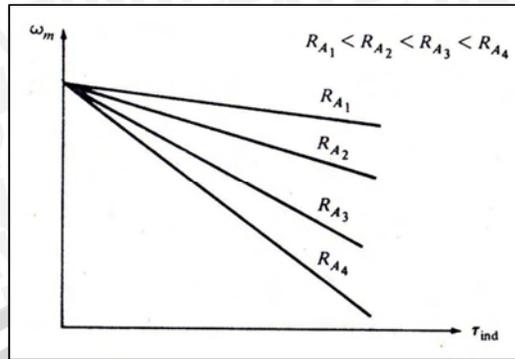


Gambar 2.38 Efek Pengendalian Tegangan Jangkar

Sumber: Chapman, 1991:333

Menambahkan Resistor (Seri) ke Rangkaian Jangkar

Dengan menambahkan resistor secara seri pada rangkaian jangkar, akan membuat motor beroperasi lebih lambat saat terbebani, selain itu hal ini akan membuat lereng kurva dari karakteristik motor torsi vs kecepatan naik secara drastis, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.39. Sebenarnya penambahan resistor pada metode pengendalian kecepatan merupakan hal yang sia-sia karena rugi-rugi yang timbul lebih besar. Karena itulah metode ini jarang digunakan. Model pengendalian kecepatan ini hanya akan ditemui pada aplikasi motor yang hampir setiap saat beroperasi pada kecepatan tinggi.

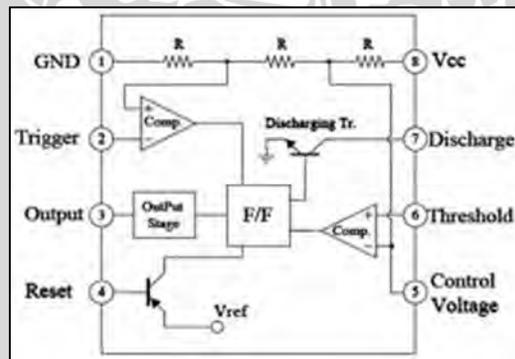


Gambar 2.39 Efek Pengendalian Resistansi Jangkar

Sumber: Chapman, 1991:333

2.9 IC Timer 555

IC timer 555 merupakan suatu rangkaian terintegrasi yang digunakan untuk berbagai aplikasi *timer* dan *multivibrator*. Berdasarkan diagram blok fungsinya IC ini terdiri dari 3 buah resistor dengan nilai yang sama, 2 buah komparator tegangan, 1 buah RS flip-flop, 2 buah transistor, dan 1 buah op-amp satu tingkat (David A. Bell, 1981:236). Tegangan suplai yang dapat diberikan berkisar antara 5V-18V. Diagram blok dari IC 555 ditunjukkan dalam Gambar 2.40.



Gambar 2.40 Diagram blok internal IC 555

Sumber: www.gstatic.com

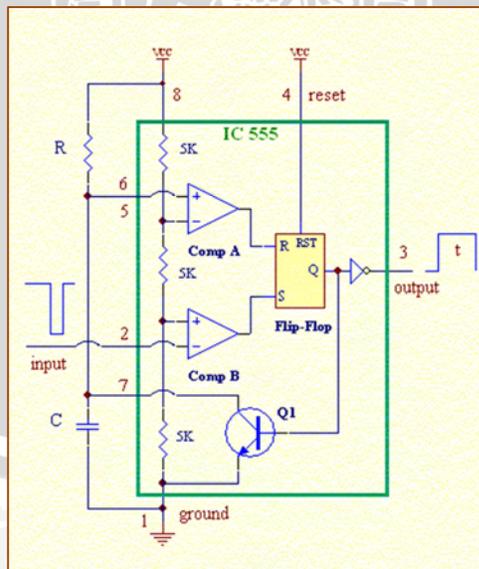
Keluaran komparator akan mengontrol kerja RS flip-flop, selanjutnya *output* dari RS flip-flop diumpan balik ke masukan op-amp satu tingkat dan ke basis dari *discharging* transistor (Q_1). Saat kondisi *output* flip-flop *high* Q_1 *on*. Dalam kondisi ini transistor Q_1 akan membuang muatan kapasitor melalui kaki no 7. Sebaliknya Q_1 akan *off* bila *output* flip-flop *low*.

Op-amp satu tingkat menghasilkan resistansi *output* yang rendah dan juga membalik level *output* dari flip-flop. Tegangan pada kaki no 3 akan rendah saat *output* flip-flop tinggi, sebaliknya pada saat *output* flip-flop rendah, tegangan pada kaki no 3 akan tinggi.

Transistor Q_2 adalah transistor PNP dengan kaki emitter terhubung ke tegangan referensi internal V_{ref} , yang selalu lebih rendah dari V_{CC} . Bila kaki no 4 (*reset*) terhubung ke V_{CC} maka sambungan basis-emitter Q_2 akan dibias mundur, yang akan menyebabkan transistor Q_2 *off*. Saat kaki no 4 di *pulled down* transistor Q_2 akan *on*, yang menyebabkan kaki no 3 berada pada level tegangan tanah (0V-0,5V), dan akan me-*reset* flip-flop.

2.9.1 Mode Monostable Multivibrator

Pada mode ini IC 555 bekerja sebagai pembangkit pulsa *one-shot*. Tegangan suplai akan diberikan pada kaki no 8 ($+V_{\text{CC}}$) dan kaki no 1 (*ground*). Kaki no 2 (*trigger*) dihubungkan secara langsung ke sumber pulsa *trigger*. V_{CC} akan mengisi kapasitor C melalui R pada saat transistor Q_1 *off*. Kaki no 4 akan dihubungkan langsung ke V_{CC} untuk memastikan transistor Q_2 akan *off* sepanjang waktu. Kaki no 5 akan dibiarkan tidak terhubung, sehingga *output* akan diambil dari kaki no 3. Diagram blok mode *monostable* ditunjukkan dalam Gambar 2.41.



Gambar 2.41 Diagram Blok Mode *Monostable*

Sumber: www.electronyclab.com

Pada awal kondisi inialisasi kaki no 2 akan berada pada kondisi tinggi apabila *trigger* berada dalam kondisi tinggi. Hal ini akan menyebabkan keluaran komparator B rendah, dan tegangan pada *input non-inverting* V_{R3} akan sama dengan:

$$\begin{aligned} V_{R3} &= V_{CC} \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \\ &= \frac{1}{3} V_{CC} \end{aligned} \quad (2.28)$$

Output komparator A akan rendah apabila kaki no. 6 juga rendah dan *input* dari *inverting* komparator $V_{(R2+R3)}$ akan sama dengan:

$$\begin{aligned} V_{(R2+R3)} &= V_{CC} \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \\ &= \frac{2}{3} V_{CC} \end{aligned} \quad (2.29)$$

Output dari flip-flop akan tinggi pada saat kondisi *reset*. Maka dari itu transistor Q_1 akan *on*, dan kapasitor C_1 akan dalam kondisi *discharged*. Hal ini akan menyebabkan kaki no. 6 dan 7 berada pada level tegangan rendah. Begitu juga tegangan *output* pada kaki no. 3.

Sinyal *input trigger* akan menyebabkan tegangan kaki no. 2 lebih kecil daripada tegangan V_{R3} dan akan menyebabkan *output* komparator B tinggi. Hal ini akan menyebabkan *output* level flip-flop rendah dan akan membuat transistor Q_1 *off*. *Output* kaki no. 3 akan menjadi tinggi karena *output* flip-flop rendah. Karena transistor Q_1 *off* maka proses pengisian kapasitor C dilakukan melalui resistor R. Saat sinyal *input trigger* pada kaki no 2 tinggi sekali lagi *output* komparator B akan rendah dan flip-flop akan tetap berada pada kondisi *set* (level tegangan *output* rendah).

Output komparator A akan tetap rendah sampai tegangan kapasitor sama dengan

$V_{(R2+R3)} = \frac{2}{3} V_{CC}$ kemudian *output* komparator A akan kembali tinggi. Karena *output* komparator A tinggi, flip-flop akan berada pada kondisi *reset* (level tegangan *output* tinggi). Transistor Q_1 akan *on* karena level tegangan flip-flop yang tinggi dan akan mengosongi kapasitor C. Level tegangan pada kaki no. 6 dan 7 akan turun dan *output* tegangan pada kaki no. 3 akan menjadi rendah karena

output flip-flop yang tinggi. Sekali lagi output komparator A menjadi rendah seiring dengan tegangan pada kaki no. 6 yang turun dibawah $V_{(R_2+R_3)}$ dan flip-flop tetap berada pada kondisi *reset*.

Rangkaian monostable IC 555 akan menghasilkan output pulsa setiap kali di *trigger*. Lebar pulsa output bergantung pada nilai R dan C juga bergantung pada level tegangan internal rangkaian IC 555.

Merancang Rangkaian Monosatable IC 555

Merancang rangkaian monostable IC 555 hanya merupakan permasalahan memilih nilai R dan C karena tegangan sumber V_{CC} bisa bernilai berapapun antara 4,5V-18V. Tidak peduli berapa nilai V_{CC} , nilai $V_{R3} = \frac{1}{3}V_{CC}$ dan nilai $V_{(R_2+R_3)} = \frac{2}{3}V_{CC}$ seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya. Pada saat rangkaian diberi *trigger* kapasitor C akan diisi sampai dengan $\frac{2}{3}V_{CC}$ dan rangkaian kembali ke kondisi awal inialisasi. Waktu (*t*) yang dibutuhkan kapasitor C untuk mengisi muatan sampai dengan $\frac{2}{3}V_{CC}$ akan menentukan lebar pulsa output. Waktu yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$t = CR \ln \left[\frac{E - E_0}{E - e_c} \right] \tag{2.30}$$

Dimana $e_c = \frac{2}{3}V_{CC}$ dengan nilai $E=V_{CC}$, $E_0=0$ dengan begitu persamaan 2.30 menjadi

$$t = 1,1C.R \tag{2.31}$$

Nilai kapasitor C harus dipilih sekecil mungkin untuk memastikan transistor Q_1 tidak mengalami kesulitan dalam proses pengosongan (*discharging*) secara cepat. Apabila kapasitor C bernilai kecil maka arus pengisian (*charging*) juga harus sekecil mungkin. Arus pengisian minimum terjadi saat tegangan kapasitansi berada pada level maksimum ($e_c = \frac{2}{3}V_{CC}$). Pada saat itu tegangan yang mengalir pada R akan sama dengan:

$$\begin{aligned}
 V_{RA} &= V_{CC} - \frac{2}{3}V_{CC} \\
 &= \frac{1}{3}V_{CC}
 \end{aligned}
 \tag{2.32}$$

Dan arus pengisian kapasitor akan sama dengan

$$I_{C(\min)} = \frac{\frac{1}{3}V_{CC}}{R_A} \text{ atau } R_A = \frac{V_{CC}}{3 I_{C(\min)}}
 \tag{2.33}$$

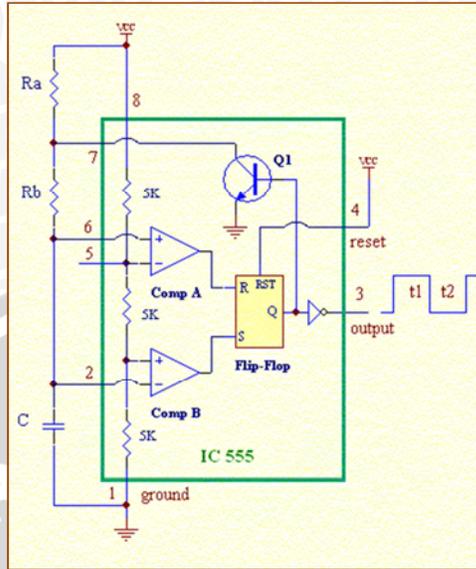
$I_{C(\min)}$ harus lebih besar dari I_{th} yang mengalir pada kaki no 6. Hal ini dilakukan untuk memastikan agar arus I_{th} tidak dialihkan ke $I_{C(\min)}$ melalui kapasitor.

Dari uraian yang telah disampaikan dapat diambil kesimpulan bahwa untuk merancang rangkaian monostable hal-hal yang perlu diperhatikan adalah:

- 1) Menentukan nilai I_{th} dari *datasheet*
- 2) Memilih nilai $I_{C(\min)}$ yang jauh lebih besar dari nilai I_{th}
- 3) Menghitung nilai R menggunakan persamaan 2.33
- 4) Menghitung nilai C menggunakan persamaan 2.31

2.9.2 Mode Astable Multivibrator

Pada dasarnya rangkaian *astable* merupakan rangkaian *monostable* yang dimodifikasi dengan menghubungkan kaki no 2 (*trigger*) secara langsung ke kaki no 6 (*threshold*). Resistor R diganti dengan sepasang resistor R_A dan R_B yang dihubungkan paralel dengan kaki no 7. Rangkaian mode *Astable Multivibrator* ditunjukkan dalam Gambar 2.42.

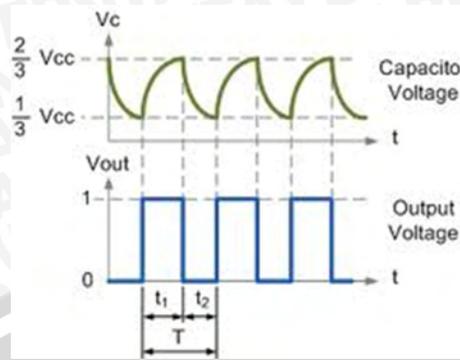


Gambar 2.42 Rangkaian Mode Astable

Sumber: www.electroniclab.com

Saat tegangan kapasitor turun dibawah $\frac{1}{3}V_{CC}$ input pembalik (*inverting*) pada komparator B berada dibawah level tegangan *input noninverting* ($V_{R3} = \frac{1}{3}V_{CC}$). Selanjutnya *output* komparator B akan naik dan men-*trigger* flip-flop ke kondisi *set* dimana *output* akan berada pada level rendah. Pada saat itu transistor Q_1 akan *off* dan proses pengisian kapasitor C akan melalui R_A dan R_B .

Kapasitor C akan terus terisi sampai mencapai $\frac{2}{3}V_{CC}$, dimana tegangan *input non-inverting* dari komparator A akan naik diatas level *input inverting* ($V_{(R_2+R_3)} = \frac{2}{3}V_{CC}$). Sekarang *output* komparator akan naik dan akan men-*trigger* flip-flop ke kondisi *reset* yang menyebabkan transistor Q_1 *on*. Kapasitor C akan dibuang muatannya (*discharged*) oleh Q_1 melalui resistor R_B . Pengosongan kapasitor C akan terus berlangsung sampai tegangan mencapai $\frac{1}{3}V_{CC}$. Pada saat itu *output* komparator B akan naik dan akan men-*trigger* flip-flop ke kondisi *output* rendah dan membuat transistor Q_1 *off* sekali lagi. Proses akan terus berlangsung secara terus menerus. Bentuk gelombang mode *Astable* ditunjukkan dalam Gambar 2.43.



Gambar 2.43 Bentuk Gelombang Mode Astable

Sumber: www.electronics-tutorials.ws

Teknik perancangan rangkaian IC 555 dengan mode *astable multivibrator* hanya melibatkan perhitungan R_A , C dan R_B . Kapasitor C akan terisi dari $\frac{1}{3}V_{CC}$ sampai $\frac{2}{3}V_{CC}$ melalui $R_A + R_B$, tegangan awal kapasitor $E_0 = \frac{1}{3}V_{CC}$ dan tegangan akhir proses $e_c = \frac{2}{3}V_{CC}$ dengan tegangan pengisian sebesar $E=V_{CC}$ maka didapat persamaan:

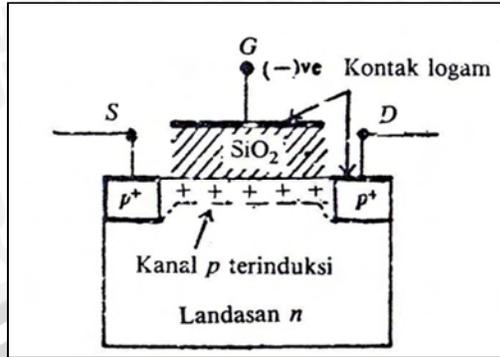
$$t_1 = 0.693C(R_A + R_B) \quad (2.34)$$

Begitu juga pada saat proses pengosongan kapasitor $E_0 = \frac{2}{3}V_{CC}$, $e_c = \frac{1}{3}V_{CC}$ dan $E=0$, didapat persamaan:

$$t_2 = 0.693CR_B \quad (2.35)$$

2.10 MOSFET

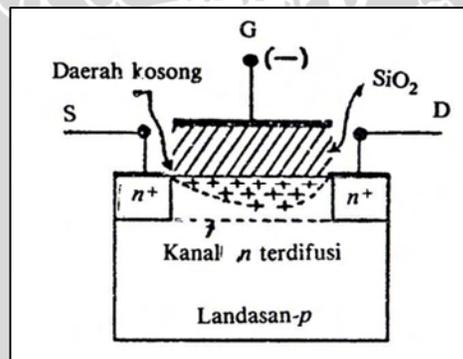
MOSFET memiliki arti penting komersial lebih besar daripada FET biasa. MOSFET juga menjadi alat daya yang penting. MOSFET dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu jenis n atau jenis p. MOSFET kanal-p terdiri dari landasan jenis n yang sedikit disuntik dimana dua daerah p disuntik berat terbentuk pada dua ujungnya dengan teknik difusi. Dua daerah ini berturut-turut berlaku sebagai *source* dan *drain* (Chartopadhyay, Rakshit, Saha, 1989:203). Bentuk MOSFET kanal-p ditunjukkan dalam Gambar 2.44.



Gambar 2.44 MOSFET Kanal-p

Sumber: Chartopahyay, Rashit, Saha, Purkait, 1989:204

MOSFET kanal-n mempunyai susunan yang sama. MOSFET kanal-n mempunyai landasan jenis p dan dua daerah ujung jenis n yang berfungsi sebagai *source* dan *drain*. Karena mobilitas *electron* lebih besar daripada *hole* alat kanal-n lebih cepat dalam penyambungan atau *switching*. Alat kanal-n dapat dibuat lebih kecil daripada alat kanal-p, sehingga pembuatannya lebih sulit dan harganya menjadi lebih mahal daripada alat kanal-p. Bentuk MOSFET kanal-n ditunjukkan dalam Gambar 2.45.



Gambar 2.45 MOSFET Kanal-n

Sumber: Chartopahyay, Rashit, Saha, Purkait, 1989:205

MOSFET kanal-n dan kanal-p dapat dibedakan menjadi dua jenis:

- 1) MOSFET *enhancement*

Misalkan landasan n di *ground*-kan dan terminal gerbang dihubungkan ke tegangan negatif maka, akibat aksi kapasitas muatan positif akan diberikan pada sisi semikonduktor.

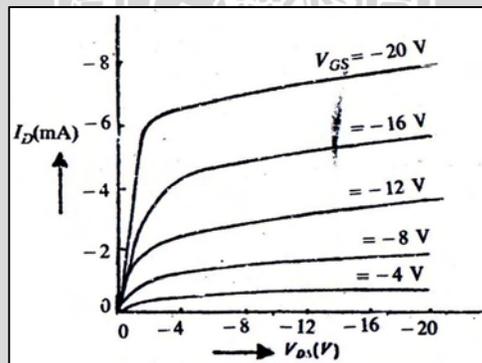
2) MOSFET depletion

Bila bagian dari landasan semikonduktor antara *drain* dan *source* didifusi dengan pencampur dari jenis yang sama, seperti yang digunakan untuk membentuk *drain* dan *source*, maka dengan menghubungkan *gate* ke *ground* akan mengalir arus yang besar dari *drain* menuju ke *source*. Apabila kaki *drain* dan *source* dihubungkan berturut-turut ke terminal positif dan negatif batere.

2.10.1 Karakteristik MOSFET

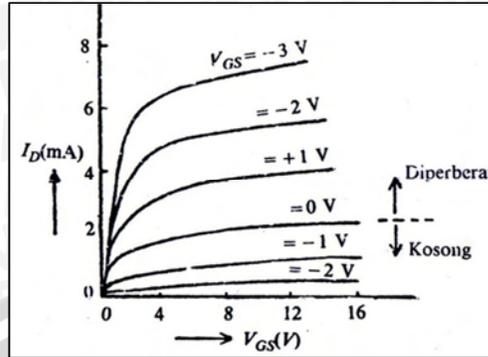
1) Karakteristik *drain* statis:

Satu set karakteristik *drain* dari MOSFET jenis *enhancement* kanal-p digambarkan perubahan arus *drain* tergantung dari tegangan *drain-source* untuk harga tetap tegangan *gate-source* V_{GS} . Karakteristik *drain* statis dari MOSFET serupa dengan karakteristik *drain* statis dari JFET yaitu arus *drain* I_D menjadi jenuh pada saat tegangan *drain-source* V_{DS} cukup besar. Grafik karakteristik *drain* statis MOSFET *enhancement* kanal-p ditunjukkan dalam Gambar 2.46, sedang untuk kanal-n ditunjukkan dalam Gambar 2.47.



Gambar 2.46 Karakteristik *Drain* Statis Kanal-p

Sumber: Chartopahyay, Rashit, Saha, Purkait, 1989:206

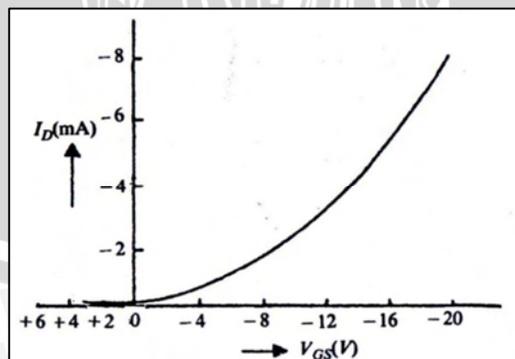


Gambar 2.47 Karakteristik *Drain* Statis Kanal-n

Sumber: Chartopahyay, Rashit, Saha, Purkait, 1989:207

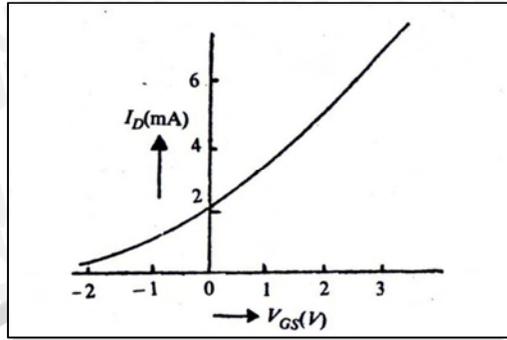
2) Karakteristik pindah:

Karakteristik pindah MOSFET *enhancement* kanal-p dan kanal-n ditunjukkan bahwa arus *drain* akan berubah dengan tegangan *gate-source* dan tegangan *drain-source* tetap. MOSFET yang tersedia dalam pasaran umumnya memiliki 3 terminal untuk sambungan keluar. Diagram menunjukkan tidak adanya sambungan penghantar antara *gate* dan bagian yang lain. Panah pada terminal sumber menunjukkan arah aliran arus. Untuk MOSFET kanal-n arah anak panah akan berkebalikan dengan arah anak panah kanal-p. MOSFET kanal-p arah anak panah kedalam sedangkan MOSFET kanal-n arah anak panah keluar. Grafik karakteristik pindah MOSFET kanal-p ditunjukkan dalam Gambar 2.48, sedang untuk kanal-n ditunjukkan dalam Gambar 2.49.



Gambar 2.48 Karakteristik Pindah Kanal-p

Sumber: Chartopahyay, Rashit, Saha, Purkait, 1989:206



Gambar 2.49 Karakteristik Pindah Kanal-n

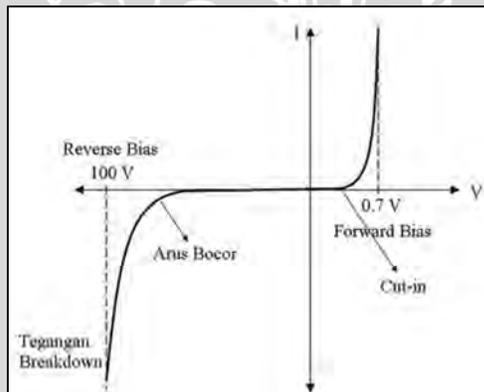
Sumber: Chartopahyay, Rashit, Saha, Purkait, 1989:207

2.11 Dioda

Karena sifatnya yang melewatkan arus pada saat dibias maju dan menahan arus pada saat dibias mundur, dioda semikonduktor dapat digunakan sebagai *switch*. Kecepatan *switching* dioda dapat ditentukan dengan melihat waktu kembali dari kondisi bias mundur.

Dioda Sebagai Switch

Karakteristik dioda semikonduktor pada saat dibias maju dan dibias mundur ditunjukkan dalam Gambar 2.50.



Gambar 2.50 Grafik Arus vs Tegangan pada Dioda Semikonduktor

Sumber: www.electropage.com

Pada saat dioda dibias maju, tegangan bias maju V_F mendekati 0.7V, dan arus bias maju I_F mendekati 10mA (David A. Bell, 1981:62). Diatas 10mA arus akan terus naik secara perlahan bersamaan dengan naiknya tegangan V_F . Pada

saat dioda dibias mundur arus saturasi I_S sebesar $0.05\mu A$ akan naik mencapai *breakdown* sebesar $75V$. Karena dioda bekerja dengan cara mengalirkan arus satu arah, dioda akan bekerja seperti saklar, dioda akan mengalirkan arus pada saat dibias maju dan tidak melewatkan arus pada saat dibias mundur.

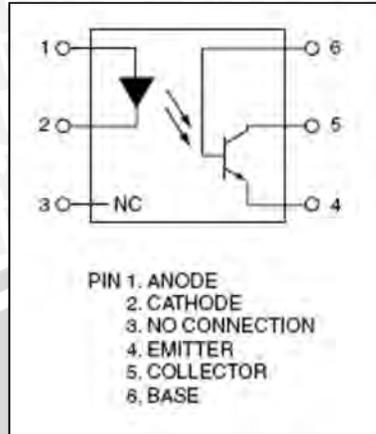
Dioda ideal adalah pada saat dibias maju tidak terdapat tegangan jatuh dan pada saat dibias mundur tidak ada arus yang mengalir pada dioda. Untuk dioda semikonduktor yang terbuat dari silikon pada saat dibias maju terdapat tegangan jatuh sebesar $0,7V$ dan untuk dioda semikonduktor yang terbuat dari germanium sebesar $0,3V$. Untuk kedua jenis dioda semikonduktor tersebut arus yang mengalir pada saat dioda dibias mundur, umumnya sangatlah kecil.

Hal yang perlu diperhatikan dalam memilih dioda untuk digunakan dalam suatu rangkaian adalah arus maksimum yang dapat dilewatkan saat bias maju, disipasi daya dioda, tegangan *breakdown* dioda, dan arus bocor maksimal yang dapat ditoleransi. Selain itu hal yang perlu dipertimbangkan lagi adalah frekuensi kerja dioda.

2.12 Optokopler

Ada kalanya sinyal dan data perlu ditransfer dari suatu sistem ke sistem yang lain melalui suatu perlatan elektronik. Kadang hal ini disebabkan karena kedua sistem tersebut berbeda level tegangannya. Dalam situasi seperti ini salah satu sistem perlu diisolasi untuk mencegah terjadinya kerusakan karena kelebihan tegangan. Untuk itu digunakan optokopler, karena optokopler menggunakan pancaran sinar (LED) untuk mengirim sinyal atau data melalui penghalang listrik dan pada saat yang sama menciptakan pelindung (isolator) yang baik.

Pada umumnya optokopler berupa IC dengan 6 atau 8 kaki, dan merupakan kombinasi dari dua buah komponen elektronik yaitu LED dan fototransistor. LED berfungsi sebagai *input* yang merubah sinyal yang masuk menjadi sinyal cahaya. Fototransistor mendeteksi cahaya dari LED dan merubahnya kembali menjadi sinyal listrik. Kedua buah komponen tersebut dipisahkan oleh suatu penghalang transparan yang menghalangi arus listrik mengalir diantara kedua komponen, namun melewatkan pancaran sinar. Rangkaian internal optokopler ditunjukkan dalam Gambar 2.51.



Gambar 2.51. Rangkaian Internal Optokopler

Sumber: www.alldatasheet.com

2.12.1 Parameter Kunci

Ada beberapa parameter dan spesifikasi yang perlu diperhatikan saat menggunakan optokopler (www.electusdistribution.com.au/optocoup.pdf):

1) CTR (*Current Transfer Ratio*)

Parameter paling penting dari optokopler adalah efisiensi transfer CTR (*Current Transfer Ratio*). CTR merupakan perbandingan antara perubahan arus pada *output* transistor dengan perubahan arus pada *input* LED. Umumnya CTR bernilai antara 10% - 50% untuk optokopler dengan *output* fototransistor.

2) $V_{CE(max)}$

Parameter optokopler lainnya adalah *output* maksimum tegangan kolektor-emitter $V_{CE(max)}$ transistor, yang membatasi suplai tegangan pada rangkaian *output*

3) $I_{F(max)}$

Rating arus maksimum $I_{F(max)}$ *input* LED, digunakan untuk menghitung nilai minimum dari resistor seri

4) *Bandwidth*

Bandwidth optokopler menentukan sinyal frekuensi tertinggi yang bisa ditransfer. Optokopler pada umumnya memiliki *bandwidth* berkisar antara 200-300kHz.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi adalah struktur perancangan, dimana fungsi dari metode ini adalah untuk memudahkan perancangan dengan cara pengerjaan yang terstruktur. Metodologi yang digunakan dalam perencanaan dan pembuatan implementasi teknologi *surface mounting* (SMT) pada rangkaian *Pulse Width Modulation* (PWM) ini adalah perancangan alat yang meliputi studi literatur, implementasi alat yang meliputi pembuatan perangkat keras (*hardware*), pengujian dan analisis. Selain dengan metode analisis, juga menggunakan metode simulasi yang dilakukan menggunakan *software* EWB untuk mengamati gelombang pulsa yang dihasilkan rangkaian pembangkit pulsa.

3.1 Perancangan Alat

Perancangan alat merupakan sebuah metode yang akan menyajikan sekaligus merencanakan alat berupa sistem *Pulse Width Modulation* yang menggunakan komponen SMD sebagai implementasi teknologi *surface mounting* (SMT). Perancangan alat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Penentuan spesifikasi alat
- 2) Pembuatan diagram blok rangkaian
- 3) Perencanaan dan pembuatan rangkaian tiap blok
- 4) Menggabungkan tiap blok rangkaian menjadi keseluruhan sistem yang direncanakan

3.2 Pembuatan Rangkaian dengan Teknologi *Surface Mounting*

Sesuai dengan perencanaan, alat ini dibuat per unit untuk memudahkan analisis dan pengujian. Masing-masing unit terdiri dari beberapa blok rangkaian yang selanjutnya dilakukan pengujian awal. Setelah penggabungan beberapa blok rangkaian sesuai dengan fungsi masing-masing unit, dilakukan pembuatan PCB untuk tiap rangkaian per unit.

Dalam tahap ini akan direncanakan juga tata letak komponen dan pembuatan PCB dengan menggunakan perangkat lunak EAGLE.

Adapun cara pemasangan komponen adalah dengan metode penempelan ke PCB. Alat yang digunakan untuk pemasangan komponen SMD adalah solder khusus komponen SMD, timah ukuran 0,3 mm, dan *flux* atau biasa disebut pasta solder yang berfungsi untuk membantu memudahkan dalam proses penyolderan komponen.

3.3 Prinsi Kerja Alat

Rangkaian PWM dalam penulisan ini menggunakan metode digital untuk mengatur lebar pulsa yang akan dihasilkan. Semua pengaturan sistem dilakukan dengan pengaturan sistem digital mulai dari rangkaian *input* yang menghasilkan gelombang kotak yang langsung dimasukan ke gerbang NOT dan kemudian masuk ke *counter* untuk dihitung, *output* PWM menggunakan pin *zero detect* (ZD) yang akan mengeluarkan logika *high* dan *low* sesuai seberapa lama *counter* menghitung sehingga mencapai nilai nol. *Oscillator* yang digunakan untuk menentukan frekuensi *output* PWM juga menggunakan sistem digital, dengan memanfaatkan frekuensi *crystal* yang kemudian dicacah menggunakan IC *counter* sehingga menghasilkan frekuensi yang tepat.

Rangkaian PWM yang dibuat terdiri dari kombinasi *counter*, gerbang logika, *flip-flop*, IC pembangkit pulsa NE555 dan komponen pasif. Rangkaian ini terdiri dari rangkaian *input* yang berupa rangkaian pembangkit pulsa yang terbuat dari rangkaian *multivibrator astabil* menggunakan IC NE555, rangkaian PWM yang terbuat dari kombinasi IC *counter*, gerbang logika, D-FF, dan rangkaian *oscillator*. Rangkaian *oscillator* pada blok PWM ini menggunakan *crystal* yang *ouput* nya akan dicacah dengan IC *counter* sehingga mengahasilkan frekuensi yang dibutuhkan untuk menentukan frekuensi *ouput* PWM yang tetap. Rangkaian kopling terdiri dari resistor dan *optocoupler*, serta rangkaian driver motor terdiri dari resistor, MOSFET, dan dioda yang berfungsi untuk *switching* motor.

Prinsip kerja rangkaian ini adalah rangkaian PWM memperoleh *input* gelombang kotak dari rangkaian pembangkit pulsa dengan IC NE555 yang disusun dalam mode *multivibrator astable*. Frekuensi *ouput* pembangkit pulsa dapat diatur. *Ouput* rangkaian PWM berupa gelombang kotak dengan frekuensi

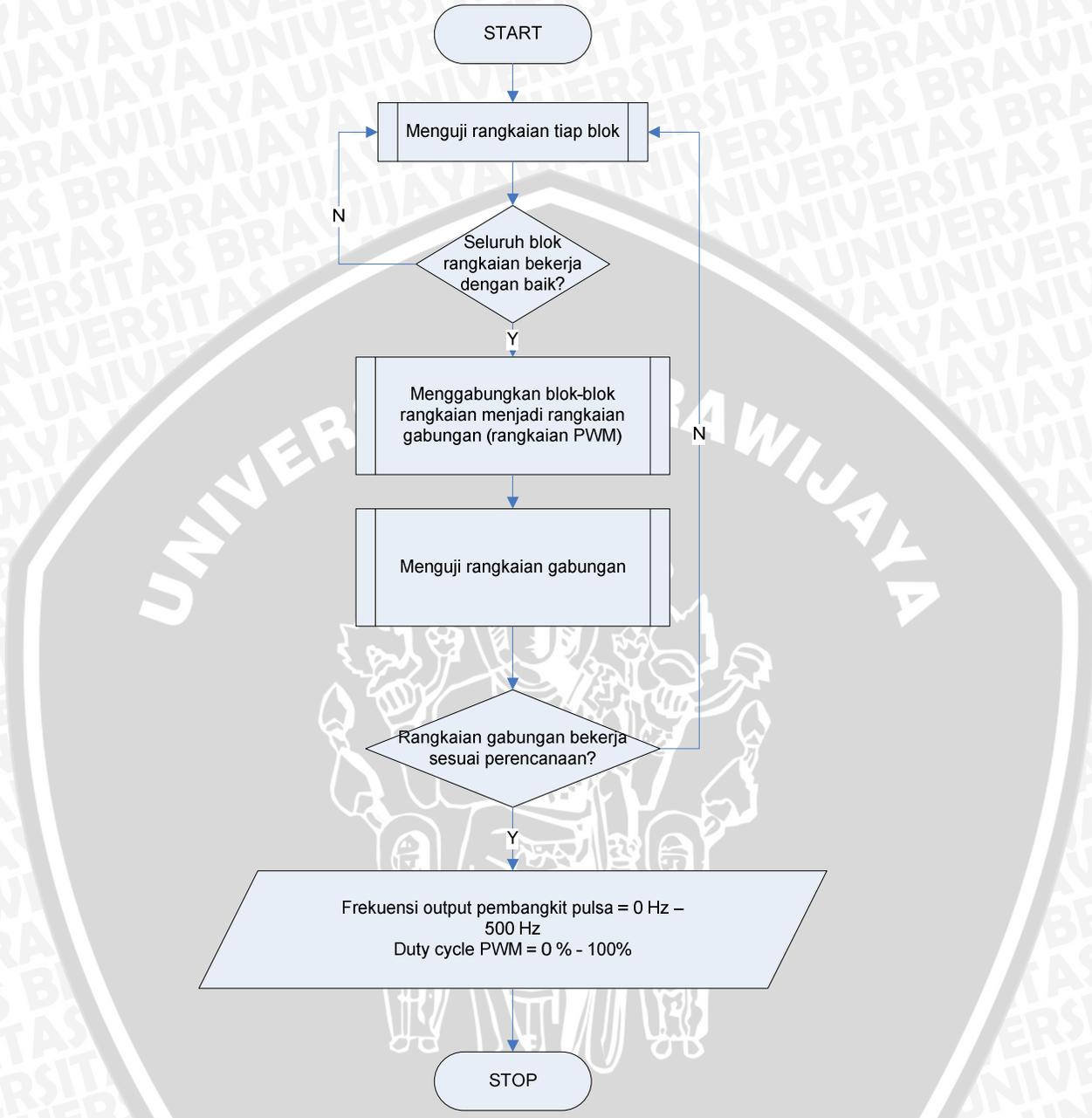
tetap dan *duty cycle* yang bisa diatur (0% - 100%) sesuai perubahan frekuensi *ouput* pembangkit pulsa. *Ouput* rangkaian pembangkit pulsa masuk ke rangkaian PWM melalui *inverter* kemudian masuk ke IC *counter* 74HC590. Selanjutnya *counter* mulai menghitung pulsa yang masuk dan menghasilkan *ouput* pada Q1 – Q8 yang akan disalin ke IC 40103 melalui P1 – P7 pada saat pin APE dari IC40103 aktif. Semakin tinggi frekuensi *ouput* pembangkit pulsa maka semakin cepat pula *counter* menghitung dan mencapai nilai 0 dan ini akan mengakibatkan pin ZD dari IC40103 yang merupakan *ouput* rangkaian PWM aktif dan menghasilkan logika 0 dan menghasilkan *duty cycle* yang kecil ($T_{on} < T_{off}$) dan begitu pula sebaliknya. Semakin rendah frekuensi *ouput* rangkaian pembangkit pulsa maka semakin lama pula *counter* mencapai nilai 0 yang akan mengakibatkan *duty cycle* yang dihasilkan besar ($T_{on} > T_{off}$).

3.4 Pengujian Alat dan Analisis

Setelah komponen dipasang ke PCB dan semua perangkat telah selesai dikerjakan, maka dilakukan pengujian dan analisis alat. Metode pengujian alat adalah sebagai berikut:

- 1) Menguji sistem pada tiap blok
- 2) Menggabungkan sistem dari beberapa blok menjadi keseluruhan sistem
- 3) Mengadakan pengujian rangkaian secara keseluruhan
- 4) Mengevaluasi hasil pengujian keseluruhan sistem

Kesimpulan didapat berdasarkan hasil dari implementasi dan pengujian alat sesuai dengan tujuan dan rumusan masalah. Saran diberikan setelah melihat adanya kekurangan dalam sistem yang telah dibuat, dengan harapan agar alat ini nantinya dapat dikembangkan menjadi lebih baik dan lebih bermanfaat. Berikut diagram alur dalam melakukan pengujian alat yang ditunjukkan oleh Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengujian Alat

BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Bab ini membahas mengenai spesifikasi alat, diagram blok alat, perancangan perangkat keras *Pulse Width Modulation* (PWM) yang merupakan implementasi teknologi *surface mounting* (SMT). Perancangan perangkat keras meliputi: perancangan rangkaian PWM dengan menggunakan komponen pasif SMD dan komponen aktif berupa IC TTL dan IC CMOS.

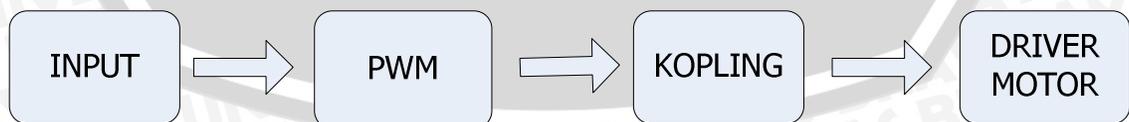
4.1 Penentuan Spesifikasi Alat

Spesifikasi rangkaian secara keseluruhan ditetapkan terlebih dahulu sebagai acuan dalam perancangan selanjutnya. Spesifikasi sistem direncanakan adalah sebagai berikut:

1. Rangkaian *input* dan rangkaian PWM menggunakan tegangan *supply* 5V DC dan *driver* motor menggunakan tegangan *supply* 12 V DC
2. Rangkaian pembangkit pulsa menggunakan IC 555 dengan frekuensi *output* 50 Hz – 500 Hz.
3. Rangkaian PWM menggunakan kombinasi IC digital IC TTL dan IC CMOS dengan frekuensi *output* tetap 1KHz.
4. Rangkaian *driver* motor mampu diberi arus beban 1A

4.2 Pembuatan diagram blok rangkain

Agar perancangan dan pembuatan alat berjalan secara sistematis, maka perlu dirancang diagram blok yang menjelaskan sistem yang dirancang secara garis besar untuk memudahkan melakukan analisa.



Gambar 4.1 Diagram Blok Rangkaian PWM

Fungsi masing-masing blok adalah sebagai berikut:

1. Rangkaian *Input*, berupa rangkaian pembangkit pulsa yang menggunakan IC 555 dengan frekuensi *output* yang dihasilkan 50Hz – 500Hz.
2. Rangkaian PWM, berupa rangkaian digital berupa kombinasi gerbang logika, flip-flop, dan *counter* dengan menggunakan IC TTL dan IC CMOS.
3. Rangkaian *Driver Motor*, berupa rangkaian *switching* menggunakan MOSFET (IRFZ44N) dan *optocoupler* (4N35) sebagai kopling penghubung dari *output* rangkaian PWM yang nantinya akan diberi beban motor DC.

4.3 Perhitungan dan Perencanaan Sistem

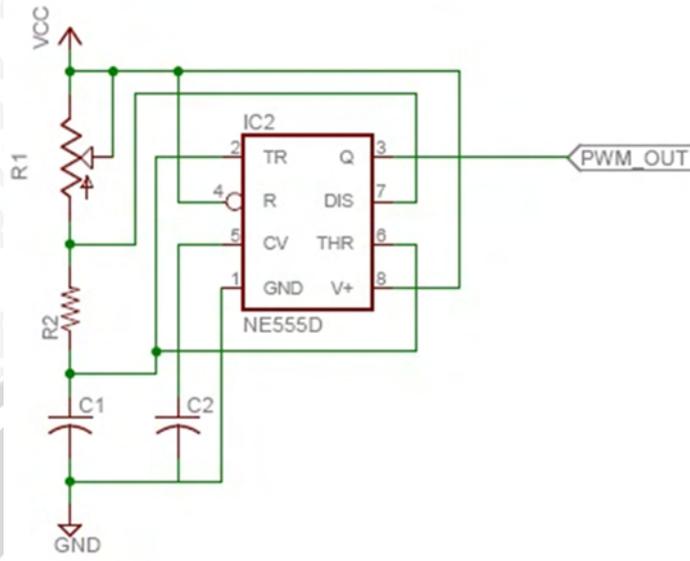
Berdasarkan studi melalui studi pustaka dan perhitungan maka diperoleh rangkaian *input* berupa pembangkit pulsa yang akan menghasilkan frekuensi berkisar antara 50Hz-500Hz. *Output* rangkaian pembangkit pulsa ini akan menjadi *input* rangkaian PWM.

Rangkaian PWM ini tersusun dari komponen pasif yang berupa resistor dan kapasitor, serta menggunakan komponen aktif yang berupa IC TTL dan IC CMOS.

4.3.1 Perancangan Rangkaian *Input*

Perancangan rangkaian *input* disesuaikan dengan spesifikasi yang telah ditentukan dalam spesifikasi alat, sehingga *output* yang dihasilkan bisa menjadi *input* terhadap rangkaian PWM. Adapun spesifikasi rangkaian *input* adalah sebagai berikut:

Spesifikasi Rangkaian *input* adalah, *multivibrator* astabil menggunakan IC 555, frekuensi *output* : 50Hz – 500Hz dan tegangan *output* : $5 V_{pp}$. Gambar 4.2 menunjukkan bentuk perancangan yang dibuat untuk membuat rangkaian *multivibrator* astabil sebagai *input* PWM.



Gambar 4.2 Rangkaian multivibrator astabil

Menentukan nilai R dan C berdasar frekuensi osilasi dengan rumus berikut ini:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C}$$

-Untuk frekuensi 50 Hz:

$$50 = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C}$$

Dengan menentukan besarnya nilai C=22nF dan R₂=47KΩ maka :

$$50 = \frac{1.44}{(R_1 + 2.47000)22 \times 10^{-9}}$$

$$(R_1 + 94000) = \frac{1.44}{50 \times 22 \times 10^{-9}}$$

$$(R_1 + 94000) = \frac{1.44 \times 10^9}{50 \times 22}$$

$$R_1 = 1309090,9 - 94000$$

$$R_1 = 1215090,9\Omega$$

-Untuk frekuensi 500Hz:

$$500 = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C}$$

Dengan menentukan besarnya nilai C=22nF dan R₂=47KΩ maka :

$$500 = \frac{1.44}{(R_1 + 2.47000)22 \times 10^{-9}}$$

$$(R_1 + 94000) = \frac{1.44}{500 \times 22 \times 10^{-9}}$$

$$(R_1 + 94000) = \frac{1.44 \times 10^9}{500 \times 22}$$

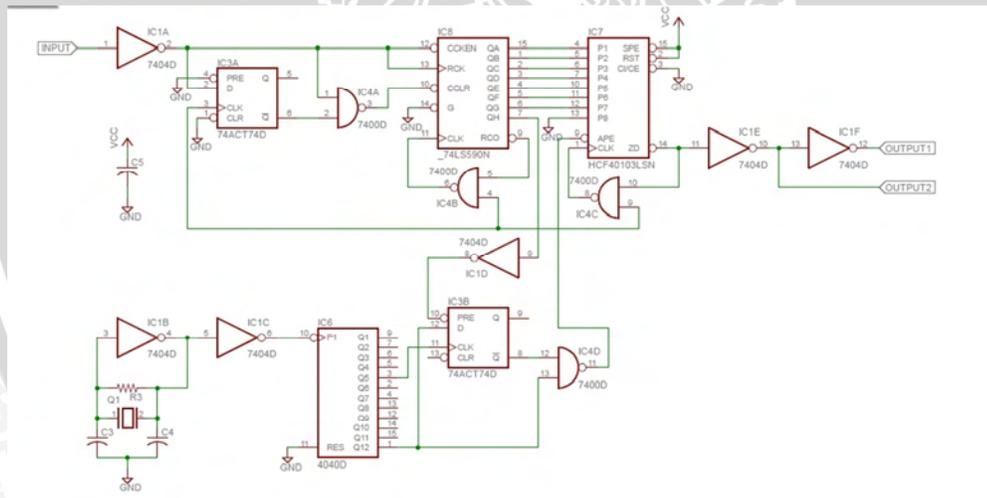
$$R_1 = 130909,1 - 94000$$

$$R_1 = 36909,1\Omega$$

Dari perhitungan tersebut telah didapatkan nilai R_A berdasar spesifikasi alat berkisar antara 36,909K Ω hingga 1,215M Ω . maka nilai variable resistor yang dibutuhkan dan yang ada di pasar sebesar 1M Ω

4.3.2 Perancangan Rangkaian PWM

Rangkaian PWM dirancang menggunakan kombinasi gerbang logika, flip-flop, serta *counter* untuk menghasilkan pulsa yang akan berubah lebar pulsanya apabila frekuensi *input* yang dihasilkan rangkaian *input*. Rangkaian PWM terdiri dari gerbang logika NOT, NAND, D-FF, *down counter*, serta *up counter*. Gambar 4.3 menunjukkan gambar rangkaian PWM.

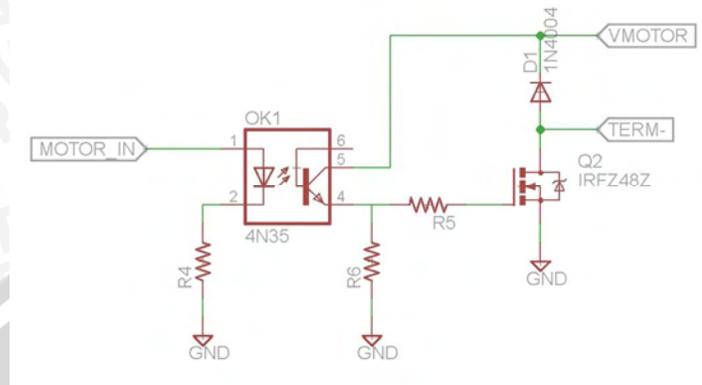


Gambar 4.3 Rangkaian PWM

4.3.3 Perancangan rangkaian Driver Motor

Rangkaian *driver* motor dirancang dengan menggunakan komponen pasif resistor sebagai pembatas arus, *optocoupler* sebagai kopling antara rangkaian PWM dan *driver* motor hal ini mempunyai tujuan untuk menghindari kerusakan rangkaian PWM yang mungkin disebabkan adanya arus balik yang di timbulkan

oleh beban induktif yaitu motor DC, dan MOSFET sebagai *switching* motor.
Gambar 4.4 menunjukkan rangkaian *driver* motor.



Gambar 4.4 Rangkaian *Driver* Motor

Berikut perhitungan untuk penentuan nilai resistor rangkaian *driver* motor:

Dengan asumsi $MOTOR_IN = V_{in} = 5V_{DC}$ maka bisa dihitung nilai R_4 :

$$V_{in} = V_{1-2} + V_{R_4}$$

Dengan besar arus 10mA (dari data sheet) dan $V_{1-2} = 0,7V_{DC}$ maka:

$$5 = 0,7 + V_{R_4}$$

$$V_{R_4} = 5 - 0,7$$

$$V_{R_4} = 4,3$$

$$R_4 = \frac{V_{R_4}}{I}$$

$$R_4 = \frac{4,3}{10 \times 10^{-3}}$$

$$R_4 = 430\Omega$$

Untuk menentukan nilai R_5 dan R_6 dapat di hitung dengan cara menentukan arus maksimal yang masuk ke *gate* dari MOSFET dan arus emitor maksimal pada *optocoupler*. Dengan nilai arus I_E dan I_{GS} sebesar 10mA maka nilai R_5 dan R_6 dapat dihitung:

$$V_{Eon} = I_{Eon} \times R_6$$

$$R_6 = \frac{V_{Eon}}{I_{Eon}}$$

$$R_6 = \frac{12V}{10 \times 10^{-3}}$$

$$R_6 = 1200\Omega$$

Dan untuk menghitung nilai R_5 dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_{E_{on}} = V_{R_5} + V_{GS}$$

Dengan $V_{GS} = 4V$ dan arus I_{GS} direncanakan sebesar $10mA$ maka:

$$V_{R_5} = V_{E_{on}} - V_{GS}$$

$$V_{R_5} = 12V - 4V$$

$$V_{R_5} = 8V$$

$$R_5 = \frac{V_{R_5}}{I_{R_5}}$$

Besar nilai I_{R_5} sama dengan besar I_{GS} yang direncanakan sebesar $= 10mA$

$$R_5 = \frac{8V}{10 \times 10^{-3}}$$

$$R_5 = 800\Omega$$

Hasil perhitungan komponen R_5 dan R_6 yang akan digunakan dan yang ada di pasar adalah $1K\Omega$, menyebabkan arus yang mengalir tidak sesuai dengan yang direncanakan, tetapi masih dalam *range* toleransi sehingga rangkaian masih bisa bekerja dengan baik. Dan perhitungannya menjadi:

$$R_6 = \frac{V_{E_{on}}}{I_{E_{on}}}$$

$$I_{E_{on}} = \frac{V_{E_{on}}}{R_6}$$

$$I_{E_{on}} = \frac{12V}{1000\Omega}$$

$$I_{E_{on}} = 12 \times 10^{-3}A$$

$$R_5 = \frac{V_{R_5}}{I_{R_5}}$$

$$I_{R_5} = \frac{V_{R_5}}{R_5}$$

$$I_{R_5} = \frac{8V}{1000\Omega}$$

$$I_{R_5} = 8 \times 10^{-3}$$

Sesuai nilai resistor yang ada di pasaran maka arus yang akan mengalir sesuai perhitungan diatas pada *emitor optocoupler* sebesar 12 mA dan yang mengalir pada *gate IRFZ44N* sebesar 8 mA, dimana besaran arus tersebut masih mampu dialirkan oleh kedua komponen tersebut.

4.4 Standard Pembuatan Rangkaian dengan *Surface Mounting Technology*

Pembuatan rangkaian *Pulse Width Modulation* ini akan dimulai dari persiapan peng-etsaan PCB, kemudian proses etsa PCB dan yang terakhir adalah pelaksanaan penyolderan komponen SMD.

4.4.1 Persiapan Awal Sebelum Proses Pencetakan dan Saat Pencetakan

Persiapan yang dilakukan sebelum membuat suatu sistem yang menggunakan komponen SMD adalah proses pencucian dan pencetakan pada PCB, adapun urutannya sebagai berikut:

- 1) Membasahi permukaan penghantar PCB dengan air yang mengalir
- 2) Menggosok permukaan penghantar menggunakan kain basah atau dengan amplas yang paling halus sampai kelihatan cerah dan memantulkan cahaya
- 3) Saat penggosokan jangan terlalu menekan terlalu kuat sebab penghantar dapat terkelupas dari permukaan dasar
- 4) Menggosok dengan tekanan yang sedang sampai merata pada permukaan penghantar
- 5) Mencuci kembali dengan air yang mengalir untuk menghilangkan sisa-sisa bahan penggosok
- 6) Untuk memegang PCB kembali, cukup dilakukan dengan memegang ujung atau memegang bagian dasar yang tidak ada lapisan penghantarnya
- 7) Pengeringan dilakukan dengan menggunakan penggosokan dengan tisu atau dengan menggunakan *hair dryer* ± 5 menit dengan PCB dalam posisi berdiri
- 8) Menempelkan *layout* yang telah diproses dengan menggunakan *software EAGLE mode SMD* atau diskrit, dimana dari proses tersebut kemudian dikopi diatas plastik transparan, bisa juga langsung dicetak dengan print laser pada plastik transparan

- 9) Penempelan dilakukan dengan menyetrika transparan tersebut dengan suhu setrika yang normal selama 2-3 menit dengan posisi menyetrika searah, dan jangan menggunakan suhu yang paling maksimal, karena dapat menyebabkan plastik transparan melengkung
- 10) Setelah menempel dan dipastikan telah menempel sempurna tinta fotokopinya, maka PCB dan plastik tranparan direndam dalam air untuk pendinginan selama ± 1 menit dan kemudian transparan dilepas perlahan dari PCB
- 11) Jika ada tinta yang menempel kurang sempurna maka bisa dilakukan penebalan ulang menggunakan spidol permanen, dan setelah itu PCB siap untuk di-etsa dengan menggunakan larutan *ferrite chloride* atau menggunakan larutan HCL

4.4.2 Proses Etsa pada PCB

Larutan *ferrite chloride* dan HCL adalah larutan yang digunakan untuk menetsa (melarutkan) lempeng penghantar pada *printed board* yang terbuat dari bahan tembaga, campuran tembaga, nikel, *stainless steel*, campuran timah dan nikel, timah dan timbel, aluminium dan perak. Dalam proses *etching* bisa dilakukan apabila menggunakan bahan *resist* dari cat, tinta atau *photo resist*, disini tidak diperbolehkan menggunakan bahan *resist* dari lapisan logam karena semua lapisan logam yang digunakan untuk melapisi penghantar *printed board* akan larut ke dalam larutan *ferrite chloride*.

Temperatur larutan yang diperlukan pada waktu *etching* antara 40°C-50°C. Sesuai dengan pemakaiannya, dalam membuat larutan *etching* dapat dibuat dengan konsentrasi encer atau pekat, disini tergantung dari pola rangkaian yang akan di-*etching* maupun lambatnya waktu proses *etching*. Larutan *etching* yang mempunyai konsentrasi larutan pekat akan mempercepat waktu proses *etching*, diperkirakan selama $\pm 15-20$ menit, tetapi hasil ini cocok bila digunakan untuk melarutkan lempeng penghantar yang mempunyai jalur penghubung atau pola rangkaian yang mempunyai bentuk lebar (lebar jalur 0,5mm-2mm, serta mencakup jalur *grounding*).

Sedang larutan *etching* yang mempunyai konsentrasi larutan encer akan memerlukan waktu proses sekitar \pm 20-30 menit tetapi akan menghasilkan hasil *etching* yang rata, sehingga larutan ini cocok bila digunakan untuk melarutkan lempengan penghantar yang mempunyai jalur penghubung atau pola rangkaian yang mempunyai bentuk kritis atau sangat kecil (lebar jalur 0,1mm-0,4mm).

4.4.3 Proses Pelaksanaan Etsa (*Etching*)

Proses pelaksanaan etsa bisa dilakukan dengan mencelup pada baki larutan pengetsa, memasukkan pada baki pengguncang yang sederhana ataupun dengan menggunakan alat pengetsa khusus secara *aerator* atau secara *spray*.

Proses pelaksanaan etsa dengan cara mencelup pada baki larutan etsa, memasukkan pada baki pengguncang yang sederhana biasanya digunakan untuk proses pembuatan PCB dengan jumlah yang sedikit. Proses pelaksanaan kedua cara ini sebenarnya sama, perbedaannya hanya pada baki pengguncang yang sederhana diberi tambahan alat pengguncang berupa kelereng sedang pada proses etsa celup tidak.

Proses dimulai dengan menuangkan larutan etsa yang akan dipakai kedalam baki sampai menutupi *printed board* yang akan dietsa (sesuaikan kepekatan dengan lebar jalur pada penghantar). Angkat secara bergantian ujung-ujung kaki sehingga larutan *etching* dan *printed board* selalu bergerak menuju bagian yang rendah. Tujuannya adalah untuk membuat agar larutan pengetsa selalu bergerak, sebab sekali larutan pengetsa bereaksi dengan lempeng penghantar, keefektifan etsa-nya akan berkurang. Jadi disini dijaga supaya larutan pengetsa selalu bergerak. Ulangi terus proses ini sampai semua lapisan penghantar yang tidak diperlukan larut. Setelah semua lapisan penghantar yang tidak diperlukan larut, proses selanjutnya adalah mengangkat *printed board* dari larutan pengetsa untuk dicuci dan dihilangkan lapisan pelindung *etching*-nya dengan menggunakan cairan tiner A special.

Adapun dalam pembuatan PCB yang dikomersilkan (dalam jumlah yang banyak) biasanya cara proses etsa dilakukan dengan menggunakan alat pengetsa khusus, baik dengan cara *aerator* maupun cara *spray*.

4.4.4 Penyolderan Komponen SMD

Komponen SMD yang digunakan adalah IC 555, IC NOT GATE, IC NAND GATE, IC D-FF, dan jenis komponen pasif SMD yang lain. Penyolderan dilakukan dengan menggunakan timah dan tidak boleh terlalu lama yaitu sekitar \pm 2-3 detik agar tidak merusak komponen SMD yang digunakan. Kemudian dilakukan penyolderan terhadap kaki-kaki yang dihubungkan dengan pad eksternal rangkaian. Pad-pad tersebut merupakan pad *input* dan *output* rangkaian yang digunakan untuk menghubungkan rangkaian dengan tegangan catu, tegangan *input*, *ground*, serta pad untuk melihat gelombang keluaran rangkaian.

Sebelum memulai proses penyolderan substrat dibersihkan terlebih dahulu agar timah dapat dengan mudah menempel pada jalur konduktor. Kemudian dilanjutkan sesuai proses berikut ini:

- 1) Penyolderan terhadap kaki-kaki yang dihubungkan dengan pad eksternal maupun ujung-ujung kapasitor dan resistor
- 2) Mula-mula pad diberi sedikit timah kemudian komponen SMD yang akan dipasang ditempatkan diatas pad tersebut. Pastikan posisi komponen dengan area pad yang akan disolder benar-benar tepat.
- 3) Komponen diberikan sedikit tekanan menggunakan pinset dan bersamaan itu pula timah dipanaskan dengan ujung solder
- 4) Setelah selesai menyolder keseluruhan pad, dilakukan pengecekan menggunakan kaca pembesar untuk memastikan komponen telah tersolder dengan baik

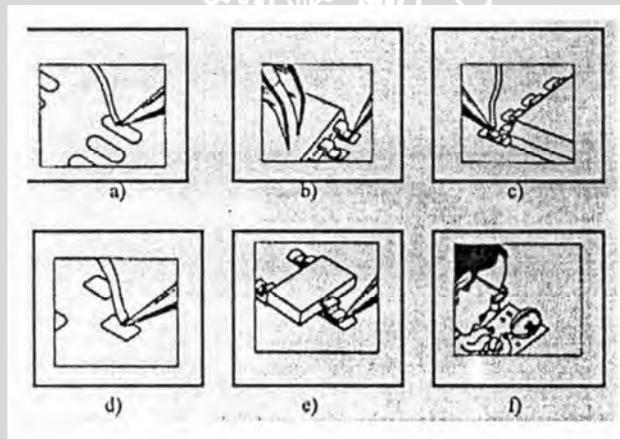
Untuk mendapatkan hasil yang baik maka perlu diperhatikan beberapa hal berikut:

- 1) Menggunakan jenis solder dengan daya 15,18 atau 35 watt
- 2) Semakin lancip ujung solder akan semakin baik menempatkan timah pada tempat-tempat tertentu yang diinginkan
- 3) Ujung solder harus sering dibersihkan agar kotoran sisa penyolderan tidak ikut menyatu dengan hasil penyolderan
- 4) Pembersihan dapat dilakukan dengan menggunakan spon basah khusus
- 5) Pemakaian timah yang baik juga mempengaruhi hasil penyolderan (usahakan ukuran timah adalah 0,3mm)

- 6) Kontak langsung antara ujung solder dengan komponen maupun pad diupayakan untuk tidak lebih dari 3-4 detik

Gambar 4.5 menunjukkan langkah-langkah penyolderan menggunakan solder tangan. Penyolderan pertama dilakukan pada komponen-komponen aktif seperti IC dan transistor.

- a) Pemberian timah dilakukan pada kaki IC yang paling ujung terlebih dahulu
- b) Menekan badan IC menggunakan pinset kemudian menyolder kaki IC yang paling ujung. Apabila posisi komponen IC sudah benar dan kuat, penyolderan pada kaki-kaki yang lain dapat dilakukan
- c) Mengulangi langkah (a) untuk komponen transistor
- d) Menekan badan transistor menggunakan pinset dan kaki lainnya disolder
- e) Penyolderan berikutnya dilakukan pada komponen resistor dan kapasitor
- f) Pengecekan penyolderan dengan kaca pembesar



Gambar 4.5 Proses Penyolderan

Penyolderan komponen SMD juga dilakukan dengan menggunakan solder *hot air flow* dengan suhu antara 350-400°C. Penyolderan dengan cara ini dilakukan dengan menggunakan pasta solder dan lem adesif untuk menempelkan komponen yang disolder tersebut.

Urutan proses penyolderan dengan menggunakan *hot air flow* yang ditunjukkan dalam Gambar 4.6 adalah sebagai berikut:

- 1) Memberikan pasta solder pada pad komponen yang akan disolder
- 2) Memberikan lem adesif antara pad komponen yang akan disolder
- 3) Menempelkan dan menekan komponen menggunakan penjepit

- 4) Menyolder pada pad komponen sampai terlihat pasta solder meleleh dan mengikat komponen
- 5) Memastikan solderan kuat dengan mengamatinya menggunakan kaca pembesar
- 6) Memastikan udara panas tidak mengenai langsung pada badan komponen, tapi terkena pada kaki masing-masing komponen



Gambar 4.6 Hot Air Flow Solder



BAB V

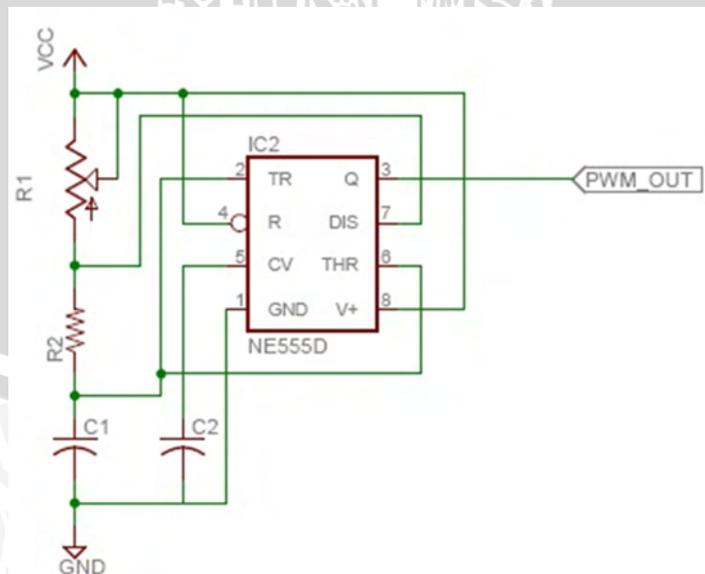
PENGUJIAN ALAT DAN ANALISIS

Bab ini akan membahas tentang pengujian alat masing-masing blok penyusun rangkaian PWM, serta membahas hasil dari pengujian rangkaian keseluruhan. Tujuan akhir bab ini adalah membandingkan hasil dari simulai dengan hasil uji alat secara nyata. Pengukuran dan pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) Pengukuran frekuensi *output* rangkaian pembangkit pulsa
- 2) Pengukuran frekuensi rangkaian osilator
- 3) Pengukuran *duty cycle* rangkaian PWM tanpa beban
- 4) Pengukuran rpm motor dan *duty cycle* rangkaian PWM dengan beban

5.1 Pengukuran frekuensi *output* rangkaian pembangkit pulsa

Kinerja rangkaian pembangkit pulsa dapat diketahui bahwa telah bekerja dengan baik apabila hasil *output* nya menghasilkan gelombang kotak yang bagus dan sesuai spesifikasi rangkaian seperti yang dihasilkan rangkaian dalam simulasi. Pengujian ini adalah mengamati perubahan frekuensi yang dihasilkan rangkaian pembangkit pulsa dengan mengubah nilai resistansi R_1 mulai dari 0% sampai dengan 100%.



Gambar 5.1 Rangkaian Pembangkiti Pulsa setelah dilakukan perancangan

Rangkaian pembangkit pulsa setelah dilakukan perancangan memiliki nilai komponen sebagai berikut:

$$R_1 = 1M\Omega$$

$$R_2 = 47K\Omega$$

$$C_1 = 22nF$$

$$C_2 = 22nF$$

5.1.1 Pengukuran Frekuensi Rangkaian Pembangkit Pulsa

Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui besarnya frekuensi yang dihasilkan oleh pembangkit pulsa dengan mengubah nilai resistansi R_1 .

Alat ukur yang digunakan:

- Osiloskop
- Multimeter

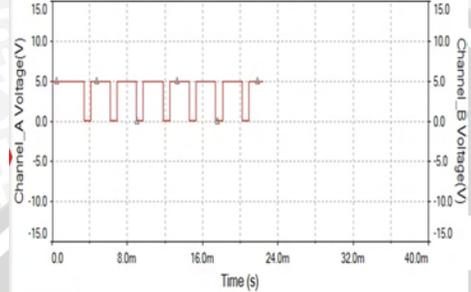
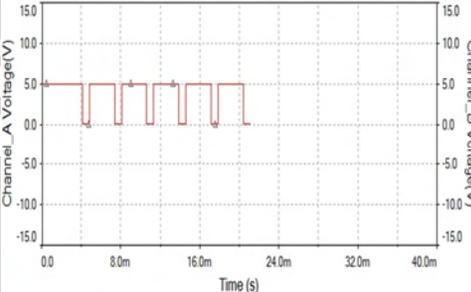
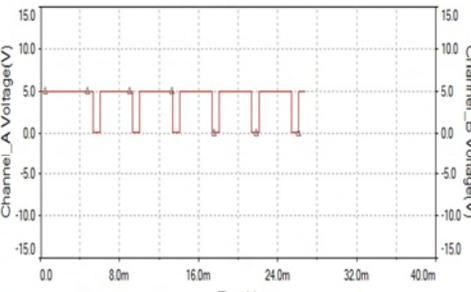
Pengujian dilakukan dengan cara mengubah nilai resistansi R_1 sehingga frekuensi *output* mulai 500Hz sampai 57Hz. Langkah pengujian adalah:

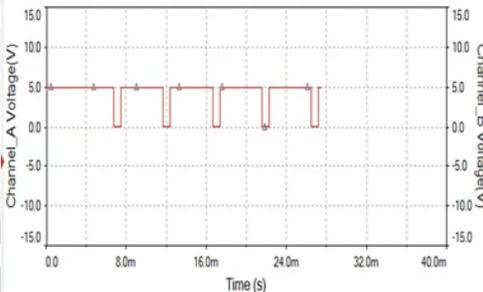
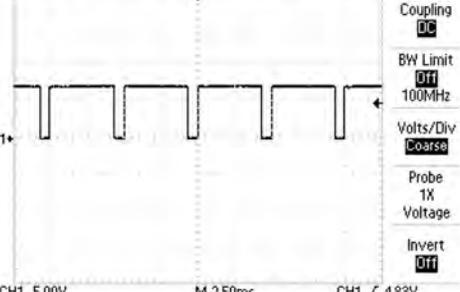
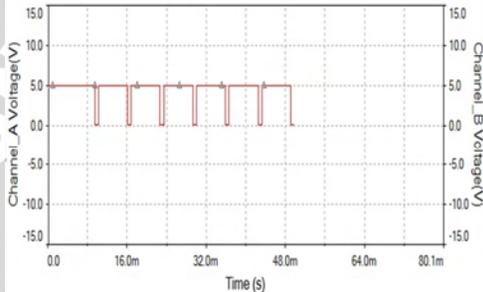
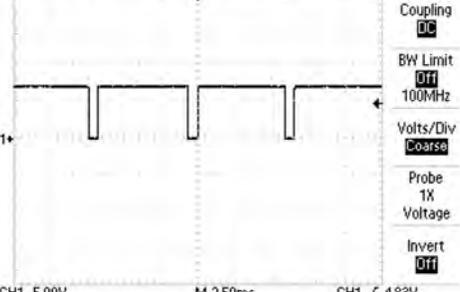
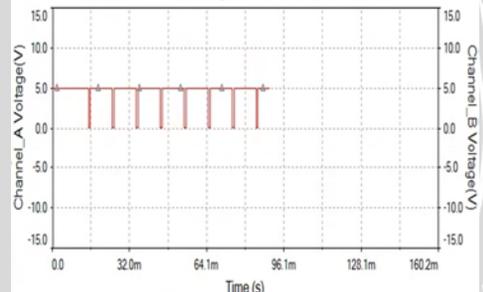
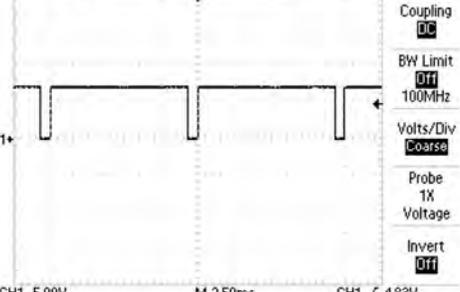
1. Memberi tegangan kerja pada rangkaian pembangkit pulsa sebesar $5V_{DC}$
2. Pada pin *output* (Pin nomer 3 IC 555) dihubungkan dengan *probe chanel 1*
3. Pada pin *output* juga dipasang multi meter untuk mengetahui tegangan keluaran yang dihasilkan.

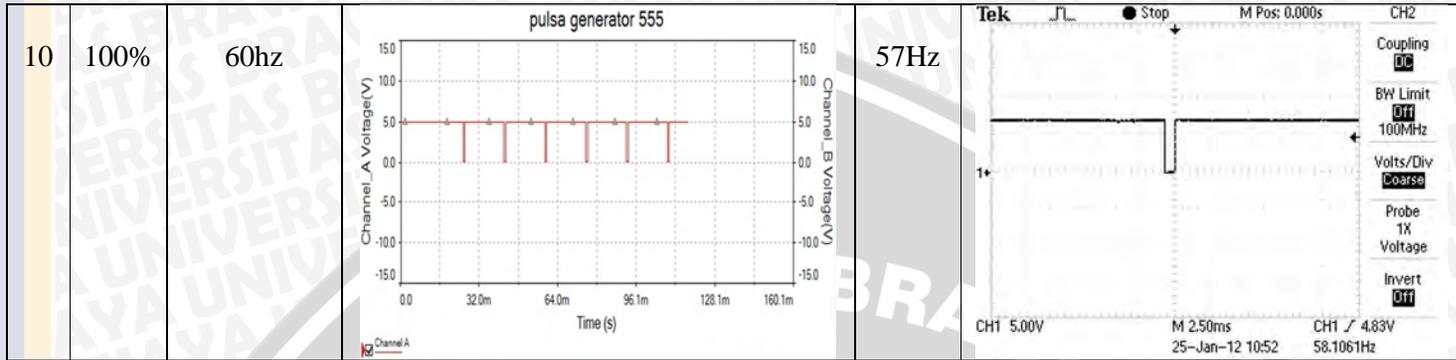
Data hasil pengujian dan pengukuran rangkaian pembangkit pulsa. Tabel

5.1 Hasil pengukuran rangkaian pembangkit pulsa

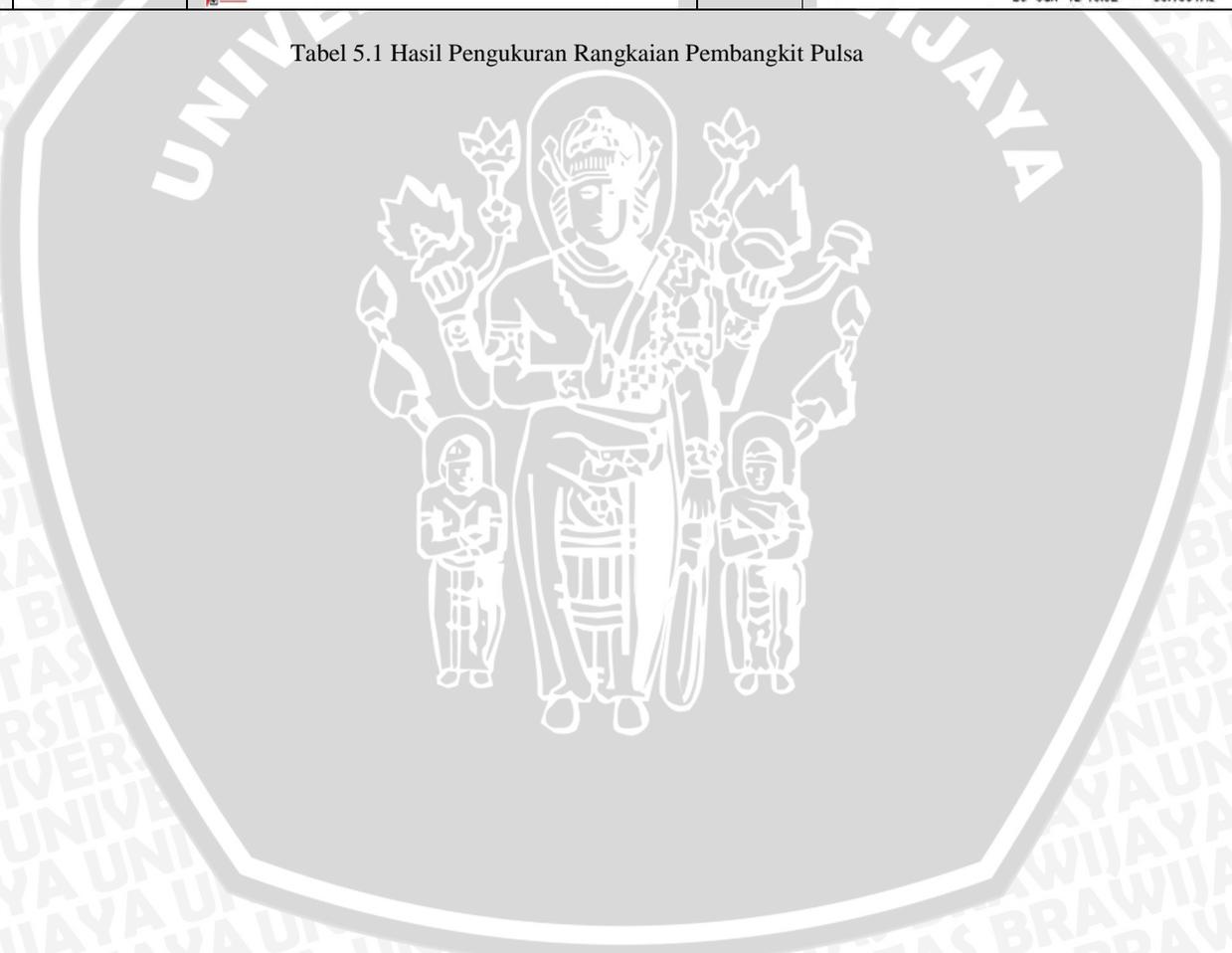
No	R1	Frek.hsl.sim	Gmbar sinyal simulasi	Frek hsl ukur	Gmbr sinyal ukur
1	4%	488Hz		500Hz	
2	5%	454Hz		450Hz	
3	7%	400Hz		400Hz	

4	9%	355Hz	<p>pulsa generator 555</p> 	350Hz	<p>Tek <input type="checkbox"/> Stop M Pos: 0.000s CH2</p> <p>Coupling <input type="checkbox"/> DC</p> <p>BW Limit <input type="checkbox"/> Off</p> <p>100MHz</p> <p>Volts/Div <input type="checkbox"/> Coarse</p> <p>Probe 1X Voltage</p> <p>Invert <input type="checkbox"/> Off</p> <p>CH1 5.00V M 2.50ms CH1 / 4.83V</p> <p>25-Jan-12 10:44 352.074Hz</p>
5	12%	306Hz	<p>pulsa generator 555</p> 	300Hz	<p>Tek <input type="checkbox"/> Stop M Pos: 0.000s CH2</p> <p>Coupling <input type="checkbox"/> DC</p> <p>BW Limit <input type="checkbox"/> Off</p> <p>100MHz</p> <p>Volts/Div <input type="checkbox"/> Coarse</p> <p>Probe 1X Voltage</p> <p>Invert <input type="checkbox"/> Off</p> <p>CH1 5.00V M 2.50ms CH1 / 4.83V</p> <p>25-Jan-12 10:45 301.391Hz</p>
6	17%	248Hz	<p>pulsa generator 555</p> 	250Hz	<p>Tek <input type="checkbox"/> Stop M Pos: 0.000s CH2</p> <p>Coupling <input type="checkbox"/> DC</p> <p>BW Limit <input type="checkbox"/> Off</p> <p>100MHz</p> <p>Volts/Div <input type="checkbox"/> Coarse</p> <p>Probe 1X Voltage</p> <p>Invert <input type="checkbox"/> Off</p> <p>CH1 5.00V M 2.50ms CH1 / 4.83V</p> <p>25-Jan-12 10:46 248.846Hz</p>

7	23%	202Hz	<p>pulsa generator 555</p> 	200Hz	
8	34%	151Hz	<p>pulsa generator 555</p> 	150Hz	
9	56%	100Hz	<p>pulsa generator 555</p> 	100Hz	



Tabel 5.1 Hasil Pengukuran Rangkaian Pembangkit Pulsa



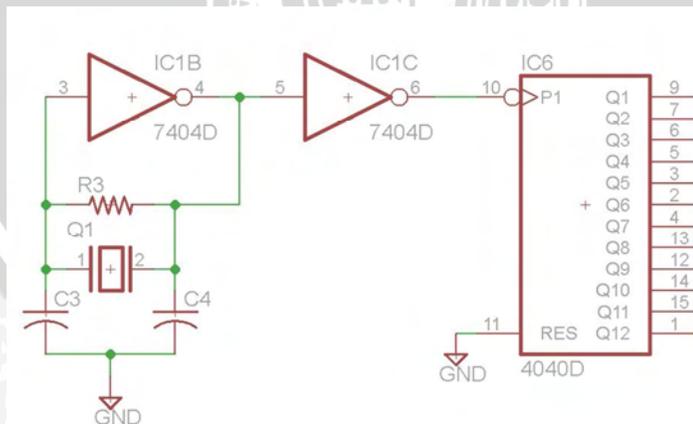
5.1.2 Analisis pengukuran rangkaian pembangkit pulsa

Analisis hasil pengukuran rangkaian pembangkit pulsa berperan untuk menentukan bahwa rangkaian pembangkit pulsa telah bekerja sesuai dengan perancangan rangkaiannya. Dengan melakukan pengukuran dan membandingkannya dengan hasil simulasi maka akan diketahui rangkaian pembangkit pulsa ini sudah bekerja dengan baik. Dengan merubah nilai resistansi R_1 pada rangkaian secara bertahap maka akan diperoleh hasil semakin besar nilai R_1 maka frekuensi yang dihasilkan akan semakin rendah.

Berdasarkan data hasil pengukuran yang ditampilkan pada Tabel 5.1 dapat ditarik kesimpulan bahwa rangkaian pembangkit pulsa telah bekerja dengan baik sesuai dengan perancangan yang telah ditentukan sebelumnya. Rangkaian bisa menghasilkan sinyal dengan bagus dan frekuensi yang sesuai dengan perencanaan pada BAB IV. Pada hasil pengukuran terjadi perbedaan, hal ini disebabkan oleh ketidak idealan atau ketidak tersediaan nilai komponen yang sesuai di pasaran.

5.2 Pengukuran Frekuensi Osilator

Rangkaian osilator merupakan rangkaian yang berfungsi menghasilkan sinyal secara kontinyu dengan frekuensi tetap yang besarnya tergantung dari nilai kristal yang digunakan. Pada rangkaian ini osilator disusun menggunakan kristal dan sebuah *counter* untuk mencacah fekuensi yang dihasilkan oleh kristal sehingga mengasilkan frekuensi sesuai yang dibutuhkan rangkaian PWM. Berikut rangkaian osilator pada rangkaian PWM



Gambar 5.2 Rangkaian osilator

Rangkaian osilator ini menggunakan komponen sebagai berikut:

$R_3 = 4,7 \text{ M}\Omega$

C_3 dan $C_4 = 22 \text{ pF}$

$Q_1 = \text{X-Tal } 4 \text{ MHz}$

Not Gate = 2 buah

IC 744040 = 1 buah yaitu *counter* yang berfungsi sebagai pencacah frekuensi.

5.2.1 Pengukuran Rangkaian Osilator

Pengukuran rangkaian osilator bertujuan untuk mengetahui sinyal *output* osilator, apakah sinyal yang dihasilkan bisa diterima oleh rangkaian PWM. Alat ukur yang digunakan adalah osiloskop

Alat ukur yang digunakan:

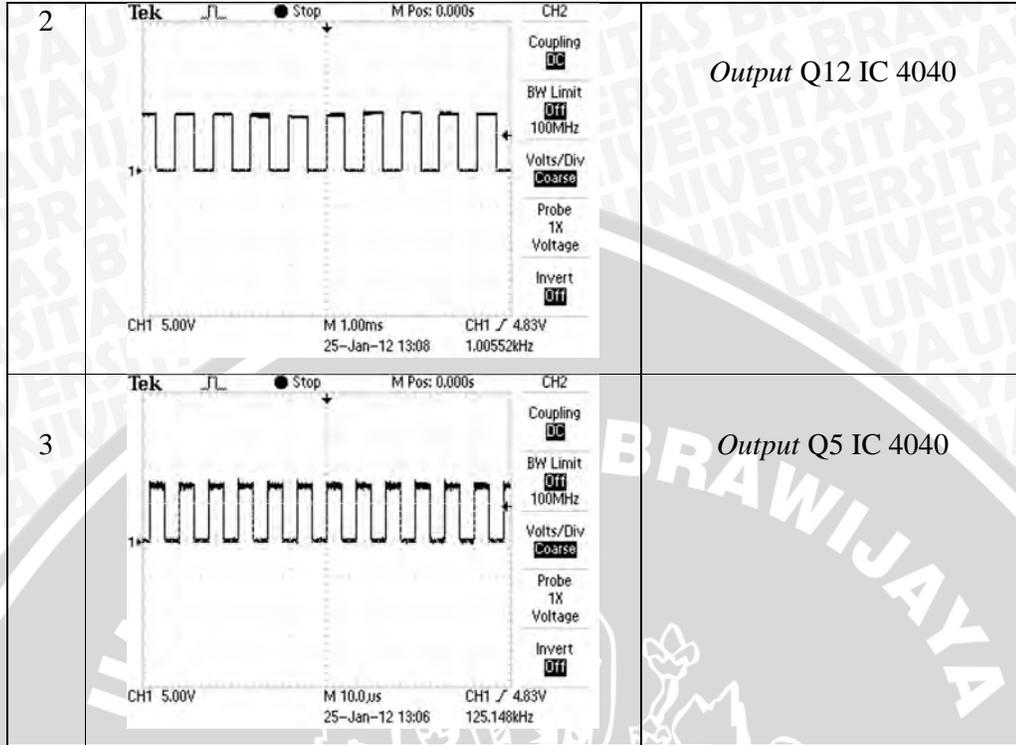
- Osiloskop

Pengukuran dilakukan dengan cara mengukur *output* kristal serta mengukur *output counter* pada Q_5 dan Q_{12} . Langkah pengukurannya adalah:

1. mengukur *output* kristal dengan menghubungkan *probe chanel1* dengan pin Clock (pin-10) IC744040
2. Mengukur *output counter* IC 744040 pada Q_5 (pin-3) dan Q_{12} (pin-1).

Data hasil pengujian rangkaian Osilator:

No	Gmbr sinyal hasil pengukuran	Keterangan
1		<p><i>Output</i> osilator dengan kristal 4MHz</p>



Tabel 5.2 Hasil pengukuran Rangkaian Osilator.

5.2.2 Analisis pengukuran rangkaian osilator.

Dari hasil pengukuran rangkaian osilator diatas dapat dianalisa bahwa sinyal dan frekuensi hasil pengukuran masih dalam *range* yang bisa di terima oleh komponen, dari *datasheet* diketahui bahwa IC 74HC4040 mampu bekerja dengan frekuensi operasional maksimum 79MHz , sedangkan IC 74HC74 mampu bekerja dengan frekuensi operional makssimum 76MHz, dan IC74HC00 mampu bekerja dengan periode maksimum 400ns sehingga frekuensi operasional maksimumnya mencapai 2.5MHz.

Frekuensi yang dikeluarkan IC 74HC4040 sesuai dengan perhitungan pada kaki IC. Hal ini ditunjukkan pada *output* Q₁₂ menghasilkan frekuensi *output* sebesar 1KHz. Bila dilihat dari datasheet IC akan diketahui jika setiap kaki Q₀ –

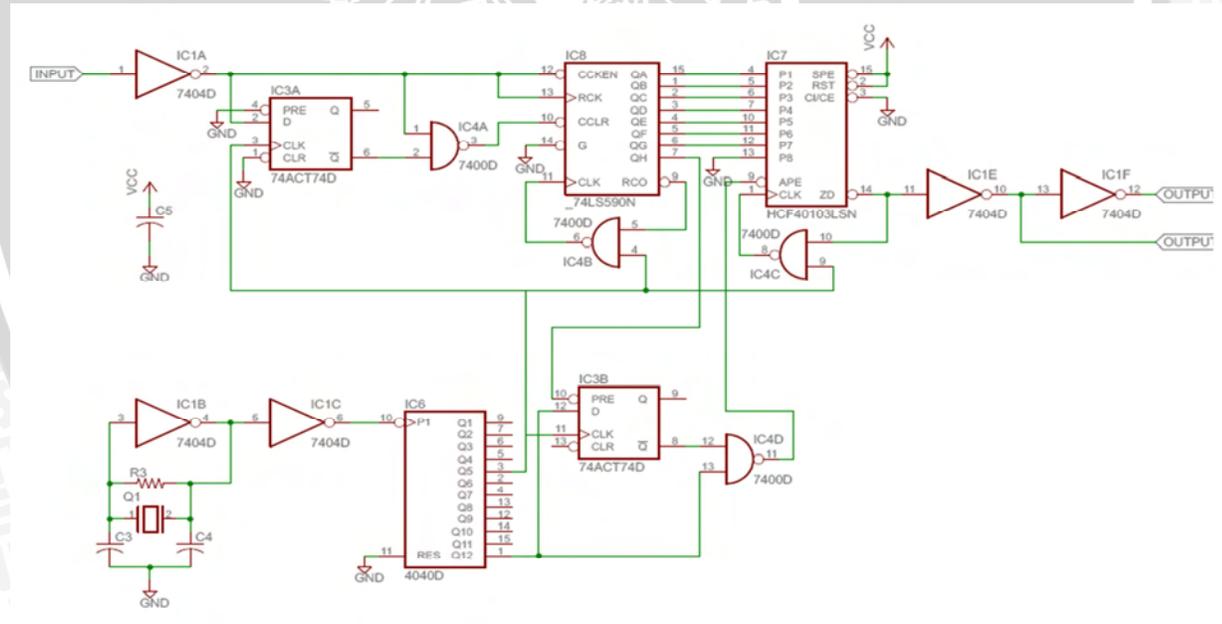
Q₁₂ memiliki rumusan *output* yaitu: $\frac{\text{frekuensi input}}{2^n}$, jika dihitung menggunakan rumusan ini maka *output* dari Q₁₂ akan sama dengan $\frac{4\text{MHz}}{2^{12}} = 1\text{KHz}$. Begitu

juga dengan *output* pada Q₅ dapat dibuktikan dengan menggunakan rumusan yang sama.

5.3 Pengukuran *Duty cycle* PWM Tanpa beban

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui bahwa rangkaian sudah bekerja dengan baik, sebelum diberi beban, terutama pada perubahan *duty cycle* yang dihasilkan PWM terhadap perubahan frekuensi *input* yang dihasilkan rangkaian pembangkit pulsa. Sehingga dapat diketahui pengaruh pembangkit pulsa terhadap rangkaian PWM. Dalam perancangan di rancang PWM bekerja dengan *input* frekuensi berkisar antara 500HZ sampai 50Hz.

Pada pengukuran ini akan dihubungkan rangkaian pembangkit pulsa dengan rangkaian PWM. Dengan menghubungkan *output* pembangkit pulsa dengan *input* PWM dan *channel1* osiloskop serta menghubungkan *channel2* pada *output* rangkaian PWM maka akan diketahui pengaruh perubahan frekuensi terhadap perubahan *duty cycle* yang dihasilkan.



Gambar 5.3 Rangkaian PWM

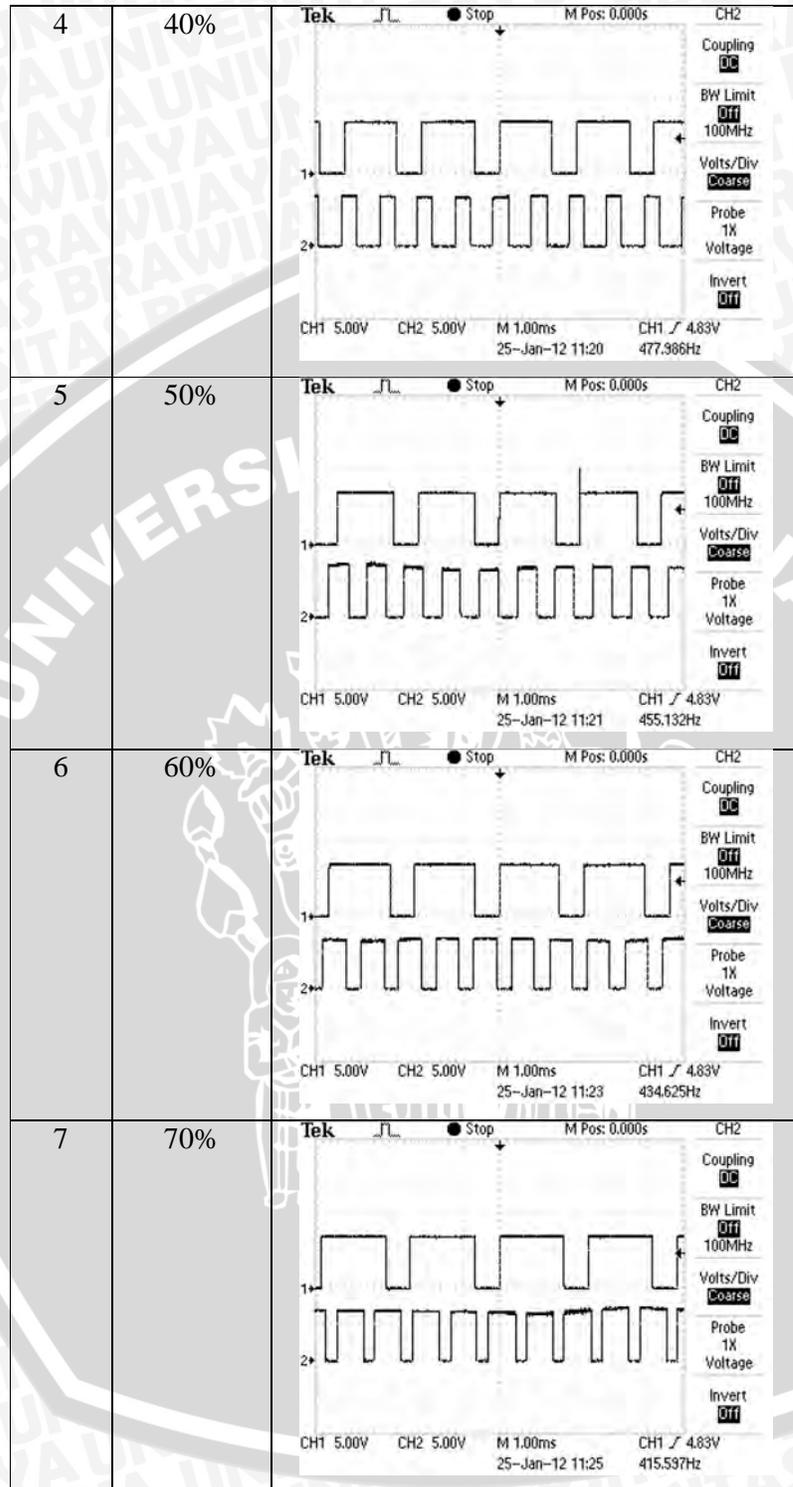
Alat ukur yang digunakan:

- Osiloskop
- Multimeter

Pengukuran dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. *Output* rangkaian pembangkit pulsa dihubungkan dengan *input* rangkaian PWM
2. Menghubungkan *probe chanel 1* dengan *output* rangkaian pembangkit pulsa
3. Menghubungkan *probe chanel 2* dengan *output* 1PWM
4. Merubah nilai R_1 untuk mendapatkan nilai *duty cycle* yang diinginkan.

No	Duty cycle	Gambar sinyal hasil pengukuran
1	10%	<p>Tek <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Stop M Pos: 0.000s CH2 Coupling <input checked="" type="checkbox"/> DC BW Limit <input type="checkbox"/> Off 100MHz Volts/Div <input checked="" type="checkbox"/> Coarse Probe 1X Voltage Invert <input type="checkbox"/> Off CH1 5.00V CH2 5.00V M 1.00ms CH1 / 4.83V 25-Jan-12 11:15 562.734Hz</p>
2	20%	<p>Tek <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Stop M Pos: 0.000s CH2 Coupling <input checked="" type="checkbox"/> DC BW Limit <input type="checkbox"/> Off 100MHz Volts/Div <input checked="" type="checkbox"/> Coarse Probe 1X Voltage Invert <input type="checkbox"/> Off CH1 5.00V CH2 5.00V M 1.00ms CH1 / 4.83V 25-Jan-12 11:17 531.336Hz</p>
3	30%	<p>Tek <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Stop M Pos: 0.000s CH2 Coupling <input checked="" type="checkbox"/> DC BW Limit <input type="checkbox"/> Off 100MHz Volts/Div <input checked="" type="checkbox"/> Coarse Probe 1X Voltage Invert <input type="checkbox"/> Off CH1 5.00V CH2 5.00V M 1.00ms CH1 / 4.83V 25-Jan-12 11:18 502.429Hz</p>



8	80%	
9	90%	
10	94,5%	

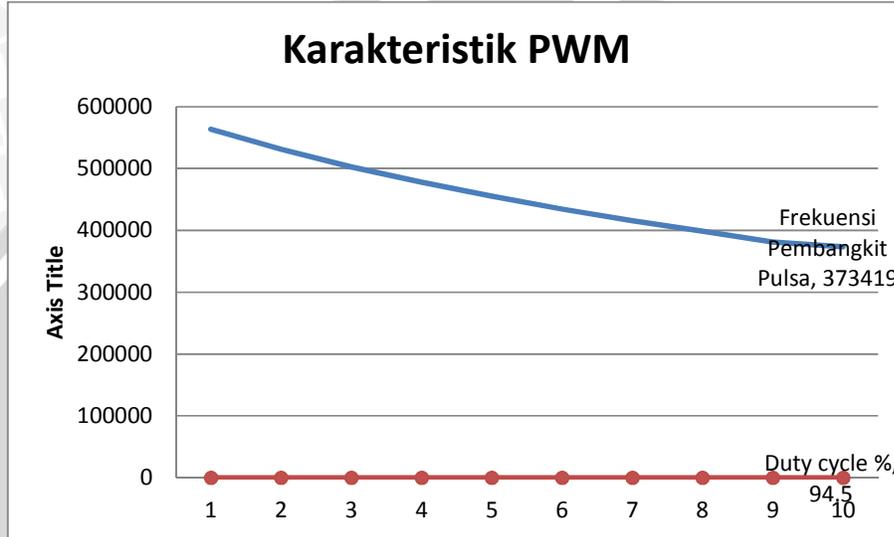
Tabel 5.3 Pengukuran PWM tanpa beban

5.3.1 Analisis pengukuran *Duty cycle* PWM Tanpa Beban

Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan *duty cycle* yang dihasilkan oleh PWM berubah berdasar dengan perubahan frekuensi yang dihasilkan rangkaian pembangkit pulsa. Semakin tinggi frekuensi yang masuk ke rangkaian PWM maka *duty cycle* yang dihasilkan semakin kecil dan sebaliknya semakin rendah frekuensi yang masuk ke rangkaian PWM semakin besar *duty cycle* yang dihasilkan. Dalam tabel 5.3 dapat dilihat bahwa rangkaian PWM dapat bekerja dengan baik, hal ini ditunjukkan dengan hasil sinyal yang bagus dan tidak mengandung *noise*, dan frekuensi *output* PWM tetap tidak berubah meskipun

frekuensi *input*nya berubah yaitu 1KHz sesuai dengan frekuensi *output* Q_{12} pada IC 74HC4040.

Dari tabel hasil pengukuran frekuensi *output* pembangkit pulsa terhadap *duty cycle* PWM dapat digambarkan grafik karakteristik PWM sebagai berikut:



Gambar 5.4 Karakteristik PWM

Pada grafik diatas dapat diketahui bahwa *duty cycle* PWM berbanding terbalik dengan frekuensi *output* rangkaian pembangkit pulsa.

5.4 Pengukuran RPM Motor dan *Duty cycle* PWM dengan beban

Pengukuran *duty cycle* PWM dengan menggunakan beban, disini beban beban yang dipasang adalah motor 12V 1A, pengukuran disini bertujuan untuk mengetahui kinerja PWM pada saat diberi beban. Apakah sinyal yang dihasilkan terpengaruh dengan adanya beban dan apakah PWM sudah bisa berfungsi dengan baik untuk mengatur putaran motor. Pada pengukuran ini PWM dihubungkan dengan *driver* motor.

Pengukuran dilakukan dengan cara menghubungkan *output* 1 PWM dengan rangkaian *driver* motor menghubungkan motor ke *driver* motor, menghubungkan *output* pembangkit pulsa dengan *input* PWM, menghubungkan *probe chanel* 1 dengan *output* pembangkit pulsa dan menghubungkan *probe chanel* 2 dengan *output* 1 rangkaian PWM.

Alat ukur yang digunakan:

- Osiloskop
- Multimeter
- *Tachometer*

Langkah-langkah pengukuran yang dilakukan dalah sebagai berikut:

1. Menghubungkan *output* rangkaian pembangkit pulsa dengan *input* rangkaian PWM
2. Menghubungkan *output1* rangkaian PWM dengan *driver* motor
3. Menghubungkan *probe chanel1* dengan *output* rangkaian pembangkit pulsa
4. Menghubungkan *probe chanel2* dengan *output1* rangkaian PWM
5. Merubah duty cyle *output* PWM mulai dari 10% - 100%
6. Menghubungkan poros motor dengan *tachometer*

No	Duty cycle	Gambar sinyal hasil pengukuran	Keterangan	RPM
1	10%		Motor berputar pelan	2638
2	20%		Motor berputar pelan	8719

3	30%		Berputar normal	9741
4	40%		Berputar normal	11942
5	50%		Berputar normal	12235
6	60%		Berputar normal	13586

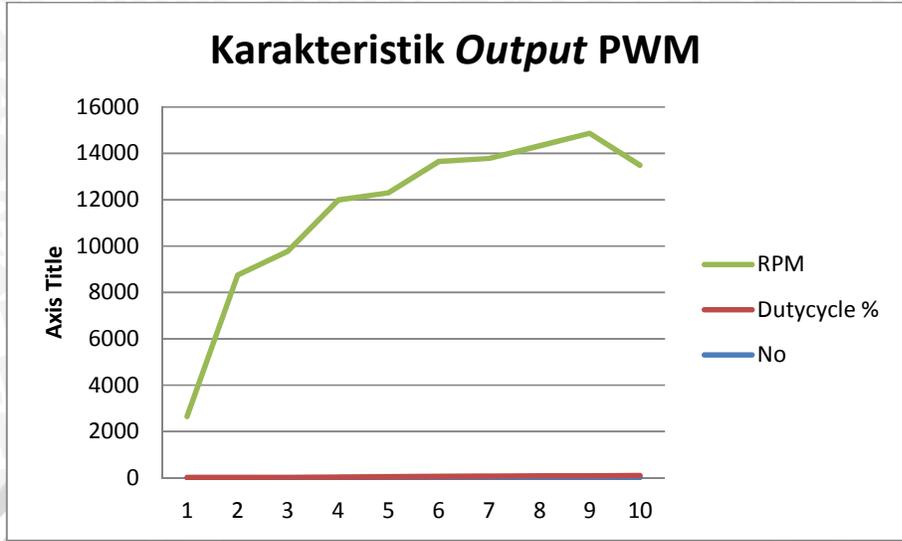
7	70%		Berputar normal	13697
8	80%		Berputar normal	14230
9	90%		Berputar normal	14763
10	94,5%		Berputar normal	13371

Tabel 5.4 Pengukuran PWM dengan beban

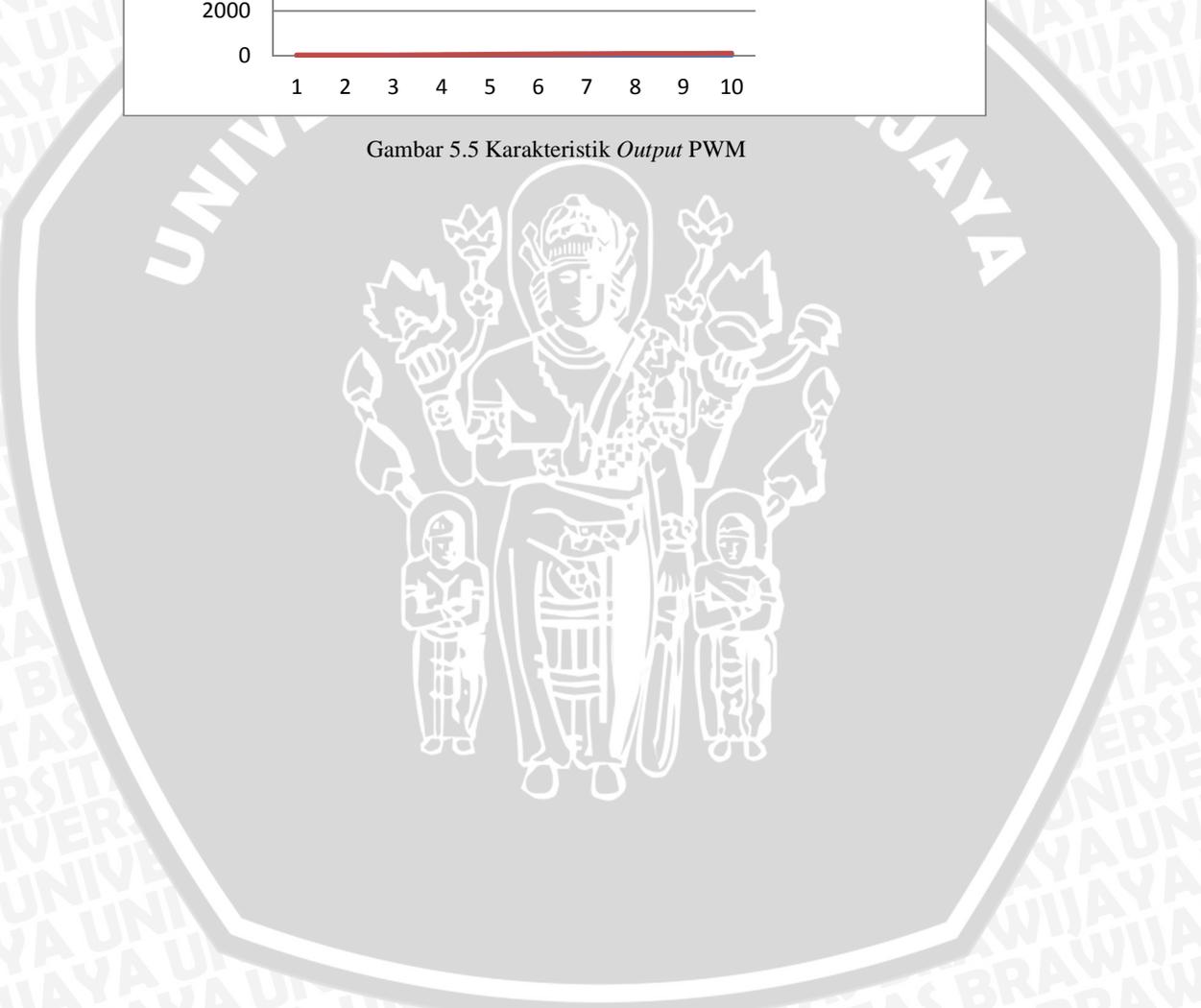
5.4.2 Analisis Hasil Pengukuran RPM Motor dan *Duty cycle* PWM dengan Beban

Dari pengukuran yang dilakukan dianalisa bahwa motor mulai berputar pada saat *duty cycle* 7%. Proses perubahan *duty cycle* sinyal *output* yang dihasilkan tidak terpengaruh dengan adanya beban. Ini menunjukkan bahwa rangkaian PWM sudah bekerja dengan baik. Proses perubahan *duty cycle* terjadi pada IC *counter* 40103 yang mengeluarkan *output* melalui pin *zero detect* (ZD) dimana ZD akan mengeluarkan *output* 'Low' pada saat data pada pin P1-P8 semuanya mengandung konsisi 'Low' dan sebaliknya akan mengeluarkan logika 'High' pada saat P1-P8 ada salah satu atau semua pin nya memiliki kondisi 'High'. P1-P8 mendapat masukan dari *output* QA-QH yang merupakan *output* dari IC *counter* 74HC590. Semakin tinggi frekuensi pembangkit pulsa maka semakin cepat pula *counter* IC 74HC590 menghitung, dan ini berdampak pada semakin kecil *duty cycle* yang dihasilkan oleh ZD pada IC 40103, dan sebaliknya semakin rendah frekuensi pembangkit pulsa makan *counter* IC 74HC590 semakin lambat dalam menghitung dan ini berdampak semakin besar nilai *duty cycle* yang dihasilkan pin ZD pada IC 40103.

Pengukuran rpm motor menunjukkan bahwa perubahan *duty cycle* berpengaruh pada perubahan kecepatan motor. Hal ini ditunjukkan dengan perubahan nilai rpm yaitu semakin kecil *duty cycle* nilai rpm yang dihasilkan semakin kecil, hal ini menunjukkan bahwa perubahan *duty cycle* berbanding lurus dengan perubahan rpm motor. Hasil pengukuran diatas dapat digambarkan dengan grafik karakteristik *output* PWM sebagai berikut:



Gambar 5.5 Karakteristik Output PWM



BAB VI PENUTUP

Dari hasil desain, pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut

6.1 Kesimpulan

Analisis keseluruhan dari rangkaian PWM dengan menggunakan komponen SMD ini menunjukkan bahwa besarnya *duty cycle* berbanding lurus dengan kecepatan putaran motor. Semakin besar frekuensi *output* yang dihasilkan rangkaian pembangkit pulsa maka *duty cycle* yang dihasilkan semakin kecil. Perubahan *duty cycle* dapat diatur sesuai keinginan dari 0% sampai dengan 95%. Dimana motor akan mulai berputar saat *duty cycle* mencapai 7% dan kecepatan putaran motor mencapai 2638 rpm. Sedangkan untuk kecepatan putaran motor maksimum didapat pada saat *duty cycle* mencapai 90% dengan kecepatan putaran motor sebesar 14763 rpm. Berdasarkan analisis yang di dapat, rangkaian ini dapat digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor DC dengan tegangan kerja 12V dengan arus maksimal 1 Ampere. Jenis motor ini sering dijumpai pada *mixer*, *hair dryer*, kipas angin.

6.2 Saran

Untuk menggunakan rangkaian PWM pada motor yang memiliki daya yang besar maka perlu diganti MOSFET sebagai *switch* yang memiliki disipasi daya yang lebih besar. Untuk membuat rangkaian dengan menggunakan komponen SMD seluruhnya disarankan menggunakan komponen yang sejenis dan memiliki karakteristik yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Bell David. 1981. Solid State Pulse Circuits. Virginia: Reston Publishing Company
- Chapman Stephen. 1991. Electric Machinery Fundamentals. Singapore: Mc Graw Hill
- Champman. 1998. Hybrid Circuit Technology: Designing Manufacturable Thin Film Resistor Circuit. USA: McGraw-Hill Inc
- Chartopadhayay, Rakshit, Saha, Purkait. 1989. Dasar Elektronika. Jakarta: UI Press
- Coughlin, Robert and Driscoll, Frederick. 1983. *Operational Amplifier and Linear Integrated Circuits*. Prentice Hall Company
- Haskard Malcolm. 1992. Electronic Circuit Cards and Surface Mount Technology. Australia: Prentice Hall
- Haskard Malcolm. 1998. Thick Film Hybrid Manufacture and Design. New Jersey: Prentice Hall Inc
- Lister Eugene. 1984. Electric Circuits & Machines. McGraw-Hill Inc.
- Millman Jacob, Halkias Christos. 1986. Elektronika Terpadu. Jakarta: Erlangga
- Mohan Ned, Undeland M Tore, and Robbins P. William. 1995. *Power Electronics: Converter, Application and Designs*. Singapore: John Wiley and Sons, Inc
- Prasad Ray. 1997. Surface Mount Technology. New York: Kluwer Academic Publishing
- Zuhal. 1992. Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama



LAMPIRAN

