

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori yang akan menunjang perancangan pengendalian suhu dan kelembaban ruang ekstraksi minyak atsiri bunga melati menggunakan kontroler PID berbasis Arduino Mega.

2.1 Tanaman Bunga Melati

Tanaman melati termasuk suku melati-melatan atau family *Oleaceae*. Kedudukan tanaman melati dalam sistematika (*taksonomi*) tumbuhan adalah sebagai berikut:

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Divisi	: <i>Spermatophyta</i>
Subdivisi	: <i>Angiospermae</i>
Kelas	: <i>Dicotyledonae</i>
Ordo	: <i>Oleales</i>
Famili	: <i>Oleaceae</i>
Genus	: <i>Jasminum</i>
Spesies	: <i>Jasminum spp.</i>

Melati atau tanaman semak, memiliki ketinggian 0,3–2 m. Daunnya bertangkai pendek, helaian daun berbentuk bulat telur, tepi daun rata, panjang 2,5–10 cm, dan lebarnya 1,5–6 cm. Tanaman melati yang kita kenal yakni family *Oleaceae*, tumbuh lebih dari setahun (*perennial*), bersifat perdu dan merambat. Batangnya berkayu berbentuk bulat sampai segi empat dan bercabang banyak seolah-olah merumpun. Daunnya berbentuk bulat telur (oval/elips) dan berwarna hijau mengkilap (Juliana, 2007).



Gambar 2.1 Bunga Melati (*Jasminum sambac*)

Melati dapat tumbuh dengan baik di daerah dataran rendah maupun dataran tinggi hingga ketinggian 1.000 meter di atas permukaan laut. Pengembangan budidaya melati paling cocok di daerah-daerah yang mempunyai suhu siang hari $28-36^{\circ}\text{C}$ dan suhu malam hari $24-30^{\circ}\text{C}$, kelembaban udara (rH) 40-80%, cukup mendapat sinar matahari, curah hujan 112-119 mm/bulan. Tanaman melati mulai berbunga pada umur 6-12 bulan setelah tanam. Panen bunga melati dapat dilakukan sepanjang tahun secara berkali-kali sampai umur tanaman antara 5-10 tahun, tergantung pada pemeliharaan dan kesuburan tanah. Perbanyak tanaman melati dapat dilakukan dengan stek batang atau cangkok. Melati menghendaki media tanam yang mengandung bahan organik tinggi. Melati tidak memerlukan perlakuan khusus pada proses pengembangannya (Endah, 2002).

Mutu bunga melati segar yang baik untuk dekorasi, industri teh dan parfum sangat ditentukan oleh penanganan pasca panen. Bunga melati yang dipanen mekar penuh mempunyai nilai ekonomi yang lebih rendah dibandingkan dengan yang dipanen dalam bentuk kuntum karena aromanya sudah berkurang. Bunga mekar penuh ini hanya cocok untuk bunga tabur. Daya simpan bunga melati sangat singkat. Dalam waktu sehari saja bunga sudah layu dan berwarna kecoklatan. Agar daya simpan bunga lebih panjang, maka diperlukan penanganan pasca panen yang ekstra hati-hati sehingga mutu kesegarannya dapat dipertahankan (Juliana, 2007).

2.2 Ekstraksi Minyak Atsiri

Ekstraksi adalah proses penarikan kandungan kimia yang dapat larut sehingga terpisahkan dari bahan yang tidak bisa larut dengan pelarut cair. Bahan alamiah yang diekstrak mengandung senyawa aktif yang dapat larut dan senyawa yang tidak dapat larut seperti serat, karbohidrat, protein dan lain-lain. Senyawa aktif yang terdapat dalam berbagai bahan alamiah dapat digolongkan ke dalam golongan minyak atsiri, alkaloid, flavonoid dan lain-lain. Struktur kimia yang berbeda-beda akan mempengaruhi kelarutan serta stabilitas senyawa-senyawa tersebut terhadap pemanasan, udara, cahaya dan logam berat (Dwi, 2012). Proses ekstraksi memiliki dua bagian utama, yaitu pelarut dan bahan utama. Pelarut (*solvent*) adalah zat yang digunakan untuk melarutkan dan memisahkan *solute* (zat terlarut) dari material yang memiliki kelarutan lebih rendah dari pada zat itu sendiri. Sedangkan, yang dimaksud bahan utama adalah bahan yang mengandung zat yang ingin dilarutkan atau diekstraksi (Berk, 2009). Ekstraksi umum

dilakukan pada bahan rempah dan herbal untuk meningkatkan umur simpan senyawa aktif dalam bahan tersebut (Esoteric oils, 2011).

Pemilihan metode ekstraksi merupakan parameter penting yang harus dipertimbangkan, hal ini terkait dengan hasil ekstraksi yang didapat di mana akan mencerminkan tingkat keberhasilan metode tersebut dalam mengeluarkan senyawa fenol dari matriks bahan ke dalam media (pelarut) melalui pengujian kuantitatif ekstrak (Salas, 2010). Terdapat beberapa metode ekstraksi bahan rempah dan herbal yang umumnya digunakan dalam industri minyak essential. Secara umum, terdapat tiga jenis metode ekstraksi, yaitu (Esoteric oils, 2011) :

- a. Metode destilasi, diantaranya metode destilasi air, metode destilasi uap jenuh (*steam*), metode destilasi air dan uap jenuh, metode difusi air dan metode destilasi fraksional.
- b. Metode pengepresan, diantaranya metode pengepresan spons dan metode abrasi mesin.
- c. Metode ekstraksi dengan pelarut, diantaranya metode *maserasi* dan metode *enfleurage*.

Metode Maserasi umumnya menggunakan pelarut non air atau pelarut non-polar. Teorinya, ketika simplisia yang akan di maserasi direndam dalam pelarut yang dipilih, maka ketika direndam, cairan penyari akan menembus dinding sel dan masuk ke dalam sel yang penuh dengan zat aktif dan karena ada pertemuan antara zat aktif dan penyari itu terjadi proses pelarutan (zat aktifnya larut dalam penyari) sehingga penyari yang masuk ke dalam sel tersebut akhirnya akan mengandung zat aktif, katakan 100%, sementara penyari yang berada di luar sel belum terisi zat aktif (0%) akibat adanya perbedaan konsentrasi zat aktif di dalam dan di luar sel ini akan muncul gaya difusi, larutan yang terpekat akan didesak menuju keluar berusaha mencapai keseimbangan konsentrasi antara zat aktif di dalam dan di luar sel. Proses keseimbangan ini akan berhenti, setelah terjadi keseimbangan konsentrasi (istilahnya “jenuh”). Dalam kondisi ini, proses ekstraksi dinyatakan selesai, maka zat aktif di dalam dan di luar sel akan memiliki konsentrasi yang sama, yaitu masing-masing 50%.

Dengan proses penyulingan umumnya tidak menghasilkan minyak bunga atau walaupun terekstrak menghasilkan rendemen yang sangat rendah atau mutu yang rendah, sehingga kurang baik digunakan. Minyak juga dapat dirusak oleh uap air atau sejumlah kecil minyak yang sedang disuling sebenarnya terlarut dalam air suling yang besar jumlahnya dan minyak tersebut tidak dapat diperoleh kembali. Hal ini terjadi pada

bunga melati, sedap malam, violet, bunga narcis, mimosa, akasia, gardenia dan beberapa jenis bunga lainnya. Cara ekstraksi merupakan sistem pembuatan minyak atsiri yang bahan bakunya memiliki rendemen kecil, rusak pada suhu tinggi dan rata-rata larut dalam air. Pada prinsip ekstraksi dengan penguapan pelarut, minyak atsiri dilarutkan dalam bahan dengan pelarut organik yang mudah menguap. Cara ini sangat sederhana yaitu dengan merendam bunga di dalam pelarut dalam sebuah bejana, kemudian ekstraksi berjalan secara sistematis pada suhu kamar. Pelarut akan berpenetrasi ke dalam bahan dan melarutkan minyak bunga beserta beberapa jenis lilin dan albumin serta zat warna. Larutan tersebut selanjutnya diuapkan ke dalam evaporator dan minyak dipekatkan pada suhu rendah. Setelah semua pelarut diuapkan dalam keadaan vakum, maka diperoleh minyak bunga yang pekat. Suhu harus dijaga tetap rendah selama proses ini berlangsung. Dengan demikian uap aktif yang terbentuk tidak akan merusak persenyawaan minyak bunga (Guenther, 2011).

2.3 Minyak Atsiri

Minyak atsiri adalah zat yang berbau yang terkandung dalam tanaman. Minyak ini disebut juga minyak menguap, minyak eteris atau minyak essensial karena pada suhu biasa (suhu kamar) mudah menguap di udara terbuka. Istilah essensial dipakai karena minyak atsiri mewakili bau dari tanaman asalnya (Gunawan dan Mulyani, 2004). Kebanyakan tanaman mengandung minyak atsiri, namun hanya beberapa tanaman aromatik yang disuling minyak atsirinya. Minyak atsiri yang disuling dari tanaman berbentuk cairan, ada yang kental, encer, bahkan pekat, biasanya mengandung resin dan berwarna merah kecoklatan, kuning cerah, maupun putih bening. Minyak atsiri sangat sensitif terhadap panas dan cahaya, sehingga minyak atsiri harus disimpan di tempat yang sejuk dan gelap. Sehubungan dengan penekanan proses pembongkaran oksigen yang terkandung pada minyak atsiri, maka minyak atsiri perlu mengalami perlakuan penempatan pada wadah yang sempit (Kazaz *et al*, 2009). Minyak atsiri terdiri dari berbagai macam komponen kimia antara lain terpene, alkohol, aldehid, dan ester. Zat inilah yang mengeluarkan aroma atau bau khas yang terdapat pada banyak tanaman misalnya rempah-rempah serta tanaman lain yang dapat memberikan cita rasa di dalam industri makanan (Yuliani, 2012).

Minyak atsiri dihasilkan dari bagian jaringan tanaman tertentu seperti akar, batang, kulit, daun, bunga atau biji. Sifat minyak atsiri yang menonjol antara lain mudah menguap pada suhu kamar, mempunyai rasa getir dan berbau wangi sesuai dengan aroma tanaman yang menghasilkannya (Lutony dan Rahmawaty, 2002).

Minyak atsiri biasanya digunakan sebagai salah satu campuran pada bahan baku industri kosmetik, sabun, farmasi, produk makanan dan minuman. Minyak atsiri digunakan sebagai pengikat aroma pada industri kosmetik dan farmasi serta pemberi rasa pada industri makanan (Nugraha, 2008).



Gambar 2.2 Minyak Atsiri Melati

2.4 Sensor Suhu dan Kelembaban SHT11

Sensor SHT11 adalah sensor suhu dan kelembaban digital yang dibuat oleh perusahaan asal Swiss yang bernama Sensirion Corp. Sensor ini mempunyai keluaran digital untuk membaca suhu dan kelembaban dan telah dikalibrasi oleh perusahaan pembuatnya (Sensirion, 2002). Bentuk sensor SHT11 ditunjukkan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.3 Bentuk Sensor SHT11

Sensor SHT11 mempunyai jangkauan pengukuran suhu mulai -40°C hingga 120°C dan pengukuran kelembaban mulai 0% RH hingga 100% RH. SHT11 memiliki akurasi pengukuran suhu $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ dan akurasi pengukuran kelembaban relatif $\pm 3.5\%$ RH. Selain itu, SHT11 memiliki konsumsi daya yang sangat kecil, yaitu sekitar $30\ \mu\text{W}$ (Sensirion, 2002).

2.5 Kontroler

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

Keberadaan kontroler dalam sebuah sistem kendali mempunyai kontribusi yang besar terhadap perilaku sistem. Hal ini disebabkan oleh tidak dapat diubahnya komponen penyusun sistem tersebut. Artinya karakteristik plant harus diterima sebagaimana adanya, sehingga perubahan perilaku sistem hanya dapat dilakukan melalui penambahan suatu subsistem yaitu seperti kontroler. Prinsip kerja kontroler adalah membandingkan nilai actual keluaran plant dengan nilai referensi, kemudian menentukan nilai kesalahan dan akhirnya menghasilkan sinyal kontrol untuk meminimalkan kesalahan (Ogata, 1996: 197-204).

2.5.1 Kontroler P (Proporsional)

Kontroler proporsional adalah sebuah kontroler yang memiliki karakteristik mempercepat respon. Hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ ditunjukkan pada persamaan 2.1:

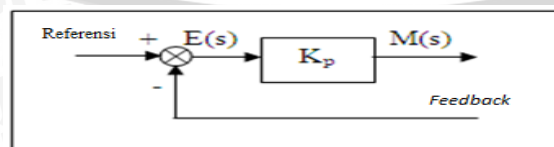
$$m(t) = K_p e(t) \quad (2.1)$$

atau, dalam besaran transformasi Laplace ditunjukkan pada persamaan 2.2,

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \quad (2.2)$$

Di mana K_p adalah kepekaan proporsional atau penguatan.

Apapun wujud mekanisme yang sebenarnya dan apapun bentuk daya penggeraknya, kontroler proporsional pada dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang dapat diatur (Ogata K.,1997). Diagram blok kontroler proporsional ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Diagram Blok Kontroler Proporsional

Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997

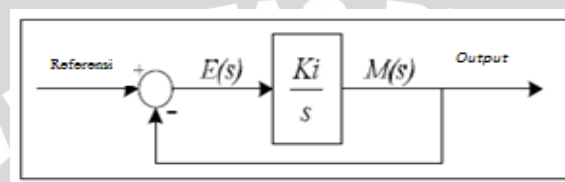
2.5.2 Kontroler I (Integral)

Kontroler integral memiliki kemampuan untuk mengurangi *offset* yang ditinggalkan oleh kontroler proporsional.

Harga keluaran kontroler $m(t)$ diubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$. Persamaan kontroler K_i ditunjukkan pada persamaan 2.3. (Ogata K.,1997).

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_i e(t) \quad (2.3)$$

K_i adalah penguatan integral. Gambar 2.4 menunjukkan diagram blok kontroler integral.



Gambar 2.5 Diagram Blok Kontroler Integral

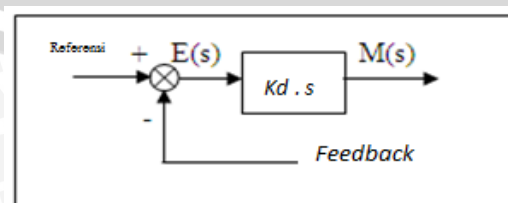
Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997

2.5.3 Kontroler D (Differensial)

Kontroler ini digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respons transien sebuah sistem kontrol dengan cara memperbesar *phase lead* terhadap penguatan kontrol dan mengurangi *phase lag* penguatan tersebut (Ogata K.,1997). Kontroler differensial tidak dapat mengeluarkan *output* bila tidak ada perubahan *input*, selain itu kontroler differensial tidak dapat digunakan untuk proses yang mengandung *noise*. Hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ dinyatakan pada persamaan 2.4 :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_d \cdot s \quad (2.4)$$

K_d adalah penguatan differensial. Gambar 2.5 menunjukkan diagram blok kontroler differensial.



Gambar 2.6 Diagram Blok Kontroler Differensial

Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997

2.5.4 Kontroler PID (Proporsional, Integral, Differensial)

Gabungan aksi kontrol proporsional, integral, dan differensial mempunyai keunggulan dibandingkan dengan masing-masing dari tiga aksi kontrol tersebut. Masing – masing kontroler P, I, maupun D berfungsi untuk mempercepat reaksi sistem, menghilangkan *offset*, dan mendapatkan energi ekstra ketika terjadi perubahan *load*.

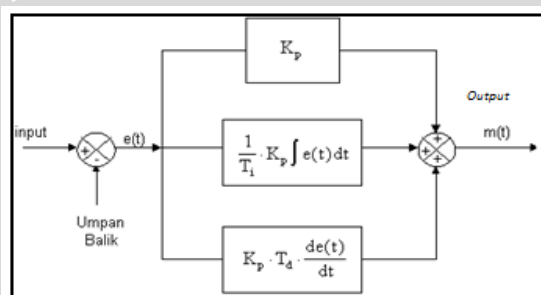
Persamaan kontroler PID ini dapat dinyatakan pada persamaan 2.5 :

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \cdot e(t)dt + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.5)$$

Dalam transformasi Laplace dinyatakan pada persamaan 2.6 :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right) \quad (2.6)$$

Ti adalah waktu integral dan Td adalah waktu derivatif. Gambar 2.7 menunjukkan diagram blok kontroler PID



Gambar 2.7 Diagram Blok Kontroler PID

Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997

2.6 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah merupakan *board* mikrokontroler berbasis ATmega 2560. Modul ini memiliki 54 digital *input/output* di mana 14 digunakan untuk PWM output dan 16 digunakan sebagai analog *input*, 4 untuk UART, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, *power jack*, ICSP Header, dan tombol *reset*. Modul ini memiliki segalanya yang dibutuhkan untuk memprogram mikrokontroler seperti kabel USB dan sumber daya melalui Adaptor ataupun *battery*.

Banyak pemula yang belajar mengenal robotika dan elektronika lewat Arduino karena mudah dipelajari. Tapi tidak hanya pemula, para penghobi atau profesional pun ikut senang mengembangkan aplikasi elektronik menggunakan Arduino. Bahasa yang dipakai dalam Arduino bukan Assembler yang relatif sulit, tetapi bahasa C++ yang disederhanakan dengan bantuan pustaka-pustaka (*libraries*) Arduino. Arduino juga menyederhanakan proses bekerja dengan mikrokontroler.

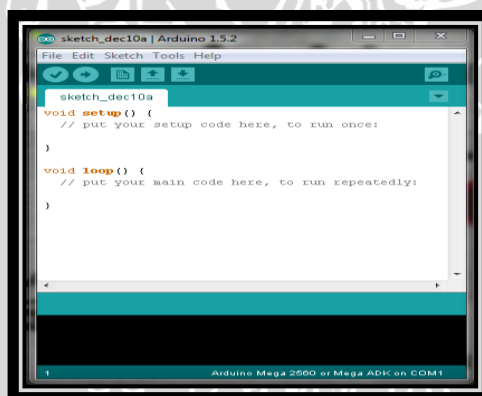


Gambar 2.8 Bentuk fisik Arduino Mega 2560

Sumber: <http://flipmu.com/work/chronome/>

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

- *Editor* program, sebuah window yang memungkinkan pengguna menulis dan mengedit program dalam bahasa *Processing*.
- *Compiler*, sebuah modul yang mengubah kode program (bahasa *Processing*) menjadi kode biner.
- *Uploader*, sebuah modul yang memuat kode biner dari komputer ke dalam *memory* di dalam papan Arduino.



Gambar 2.9 Tampilan Software Arduino.

Sumber: Dokumen Pribadi

2.7 LCD Keypad Shield

LCD Keypad Shield dikembangkan untuk Arduino papan yang kompatibel, untuk menyediakan antarmuka yang *user-friendly* yang memungkinkan pengguna untuk pergi melalui menu, membuat pilihan dan lain-lain, terdiri dari 1602 karakter putih LCD dengan latar belakang biru. Tombol terdiri dari 5 tombol - *reset*, atas, kanan, bawah dan kiri. Untuk menyimpan pin IO digital, antarmuka *keypad* hanya menggunakan satu saluran ADC. Nilai tegangan dari setiap *keypad* pada saat membaca adalah 5 V.



Gambar 2.10 LCD Keypad Shield

Sumber: <http://www.jualarduino.com/wp-content/uploads/2013/09>

2.8. Pompa dan Motor (*Direct Current*) DC

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

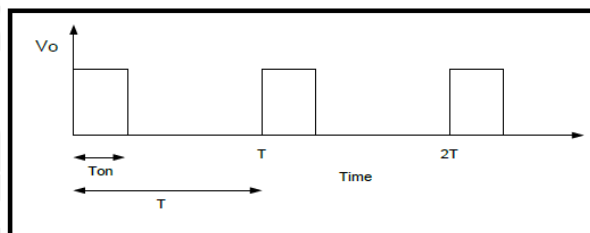
Motor DC merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya, memutar *impeller* pompa, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (*mixer*, bor listrik, *fan* angin) dan di industri. Prinsip kerja motor DC sesuai dengan hukum kemagnetan Lorenz, yaitu membangkitkan fluksi magnet pada suatu konduktor berarus dalam medan magnet sehingga timbul ggl induksi. Setiap arus yang mengalir melalui sebuah konduktor akan menimbulkan medan magnet (Fathurohim, M. 2010). Metode PWM (*Pulse Width Modulation*) adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatur kecepatan dari motor DC. Kecepatan motor DC tergantung pada besarnya *duty cycle* yang diberikan pada motor DC tersebut. Pada sinyal PWM (*Pulse width Modulation*), frekuensi sinyal konstan sedangkan *duty cycle* bervariasi dari 0%-100%. Dengan mengatur *duty cycle* akan diperoleh keluaran yang diinginkan. (Alfarisi.R.,2011).

Duty Cycle adalah besarnya sinyal kontrol yang diberikan pada motor. Persamaan untuk perhitungan *duty cycle* ditunjukkan pada persamaan 2.7 dengan T_{on} adalah periode logika tinggi, dan T adalah periode keseluruhan.

$$Duty\ cycle = T_{on}/T \times 100\% \quad (2.7)$$

Sinyal PWM (*Pulse width Modulation*) secara umum ditunjukkan dalam Gambar

2.11



Gambar 2.11 Sinyal PWM secara Umum

Sumber : Firda Ardyani (2013)

2.9 Sinyal *Pseudo-Random Binary Sequences* (PRBS)

Pseudo Random Binary Sequences (PRBS) adalah sinyal kotak yang termulasi pada lebarnya dan berlangsung secara sekuensial. Sinyal ini biasanya dibangkitkan menggunakan *Linear Feedback Shift Register* (LFSR). Pada LFSR memiliki 2 parameter dasar yang menentukan sifat sekuensial yang dihasilkan, yaitu: panjang dari *shift register* dan susunan umpan balik. PRBS memiliki variasi panjang sekuensialnya tergantung dari panjangnya *shift register* seperti ditunjukkan Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Variasi Panjang Sekuensial PRBS (Landau, 2006)

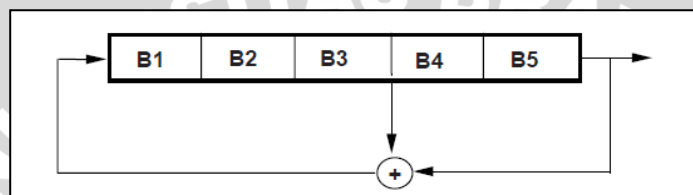
Panjang Register (N)	Panjang Sekuensial $l=2^n-1$	Posisi Tap Umpan Balik
2	3	1 dan 2
3	7	1 dan 3
4	15	3 dan 4
5	31	3 dan 5
6	63	5 dan 6
7	127	4 dan 7
8	255	2, 3, 4, dan 8
9	511	5 dan 9
10	1023	7 dan 10

Panjang dari *shift register* menentukan periode maksimum yang dapat dihasilkan dari sekuensial PRBS yang tidak berulang dan dapat dinyatakan dalam Persamaan 2.5

$$L_{PRBS}=2^n-1 \quad (2.8)$$

Dimana: n adalah panjang dari register LFSR (jumlah bit).

Panjang maksimum dari PRBS disebut *M-sequence*. Panjang maksimum yang dapat dihasilkan PRBS untuk panjang tertentu dari *shift register* dapat dicapai dengan mempersiapkan konfigurasi dari *feedback* (lihat Gambar 2.10). Pada dasarnya ada 2 kemungkinan untuk realisasi LFSR, yaitu: Fibonacci (*many to one*) dan Galois (*one to many*). Keduanya dapat didasarkan pada gerbang XOR atau XNOR menggunakan bermacam-macam angka dan kombinasi dari *feedback-taps-keluaran* dari *shift register* khusus. Dengan mengubah konfigurasi umpanbalik (jumlah tap dan posisinya) memungkinkan untuk menemukan *M-sequence* yang berbeda untuk panjang tertentu dari *shift register*.



Gambar 2.12 Register Geser 5 bit dengan Umpan Balik (Landau, 2006).

Prinsip kerja pengujian proses dengan sinyal PRBS adalah membuat perubahan sinyal input kecil secara acak untuk memberikan gangguan (*noises*) yang kontinyu pada variabel *output*. Salah satu keunggulan penggunaan dari pendekatan ini adalah amplitudo perubahan *input* yang dibutuhkan dapat lebih kecil jika dibandingkan dengan perubahan *step* pada *step testing*. Selain itu, proses pengujian dapat dilakukan tanpa harus menunggu proses dalam keadaan tunak (*steady state*).

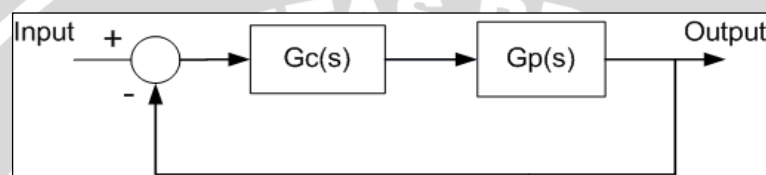
2.10. Metode Perancangan Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID) Menggunakan Root Locus.

Metode *root locus* / letak kedudukan akar digunakan untuk meneliti perilaku sistem dengan parameter sistem berubah pada lingkup tertentu, misalnya perubahan parameter penguatan K . Di dalam analisis sistem, penguatan K dipilih sedemikian rupa agar sistem stabil serta memberikan respon yang baik. Rancangan dimaksudkan agar letak pole dan zero dari fungsi alih loop tertutup terletak pada daerah yang ditentukan. Agar sistem stabil, pole dan zero harus terletak pada bidang s sebelah kiri sumbu imajiner.

Metode letak kedudukan akar ini memberikan informasi penguatan K jika penguatan K diubah dari nol menjadi tak terhingga. Metode ini memungkinkan kita

untuk mencari *pole* loop tertutup dan *zero* loop terbuka dengan penguatan sebagai parameter.

Rancangan sistem kendali loop tertutup menggunakan *root locus* memungkinkan untuk mengatur sekurang-kurangnya beberapa letak *pole* sistem loop tertutup sehingga dapat mengatur tanggapan transien pada tingkat tertentu dan pengaruhnya terhadap tanggapan keadaan mantap (Philips,1996:209). Prosedur analitis perancangan kontroler PID menggunakan metode *root locus* yang dijelaskan dalam *Feedback Control System* oleh Charles L. Philips dan Royce D. Harbour dapat dilihat dalam Gambar 2.12 berikut:



Gambar 2. 13 Sistem Kendali Loop Tertutup

Untuk sistem tersebut, persamaan karakteristik diberikan persamaan 2.9

$$1 + G_c(s)G_p(s) = 0 \quad (2.9)$$

Misalkan diinginkan lokus akar melalui $s = s_1$, maka hasil dari persamaan ditunjukkan pada persamaan 2.10.

$$\begin{aligned} G_c(s_1)G_p(s_1) &= -1 \\ G_c(s_1)|G_p(s_1)|e^{j\psi} &= 1e^{j\pi} \end{aligned} \quad (2.10)$$

Fungsi alih kontroler PID setelah ditransformasi laplace dinyatakan oleh persamaan 2.11.

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (2.11)$$

Perhitungan dari persamaan 2.10 ditunjukkan pada persamaan 2.12,

$$G_c(s_1) = \frac{1}{|G_p(s_1)|} e^{j(\pi - \psi)} \quad (2.12)$$

Substitusi persamaan 2.12 pada persamaan 2.10 didapatkan persamaan 2.13,

$$Kd s_1^2 + Kp s_1 + Ki = \frac{e^{j(\Pi-\psi)}}{Gp(s_1)} \quad (2.13)$$

Dengan

$$s_1 = |s_1| e^{j\beta} \quad (2.14)$$

Hasil dari substitusi persamaan 2.14 ke persamaan 2.13, didapatkan pada persamaan 2.15.

$$\begin{aligned} & Kd |s_1|^2 (\cos 2\beta + j \sin 2\beta) + Kp |s_1| (\cos \beta + j \sin \beta) + Ki \\ &= \frac{|s_1|}{Gp(s_1)} [\cos(\beta + \Pi - \psi) + j \sin(\beta + \Pi - \psi)] \end{aligned} \quad (2.15)$$

Menyamakan real dengan real dan imajiner dengan imajiner, didapatkan hasil pada persamaan 2.16.

$$\begin{bmatrix} |s_1|^2 & |s_1| \cos \beta \\ |s_1|^2 & |s_1| \sin \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Kd \\ Kp \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{|s_1|}{Gp(s_1)} \cos(\beta + \Pi + \psi) - Ki \\ \frac{|s_1|}{Gp(s_1)} \sin(\beta + \Pi + \psi) \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Atau dapat ditunjukkan pada persamaan 2.17.

$$\begin{bmatrix} |s_1|^2 & |s_1| \cos \beta \\ |s_1|^2 & |s_1| \sin \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Kd \\ Kp \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{|s_1|}{Gp(s_1)} \cos(\psi - \beta) - Ki \\ \frac{|s_1|}{Gp(s_1)} \sin(\psi - \beta) \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Dari persamaan dapat dilihat bahwa untuk perancangan kontroler PID, satu dari tiga penguatan Kp, Ki, Kd, harus ditentukan dahulu. Sedangkan untuk perancangan PI atau PD, penguatan yang sesuai pada persamaan dibuat sama dengan nol.