

BAB II

DASAR TEORI

Pada bab ini akan dibahas mengenai teori tentang ayunan matematis dan komponen-komponen penyusun alat pengukur periode ayunan matematis secara digital.

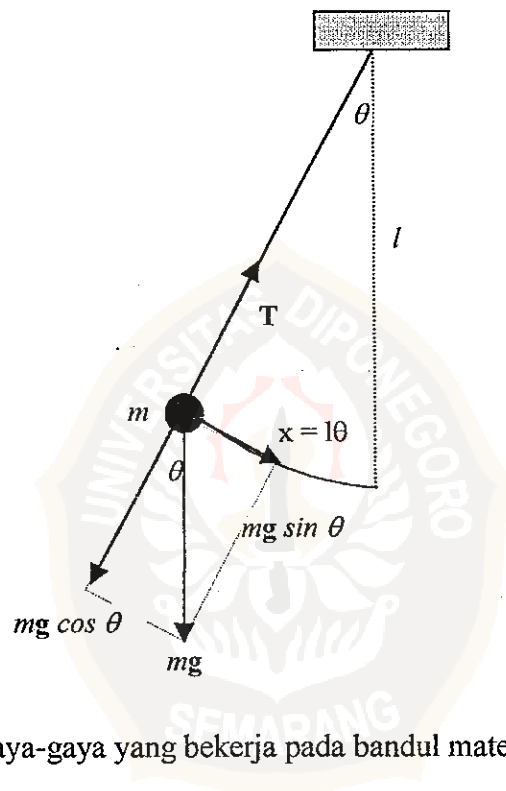
2.1. Bandul Matematis

Bandul matematis adalah benda ideal yang terdiri dari sebuah titik massa, yang digantungkan pada tali ringan yang tidak dapat mulur. Jika bandul ditarik kesamping dari posisi seimbangnya dan di lepaskan, maka bandul akan berayun dalam bidang vertikal karena pengaruh gravitasi. Geraknya merupakan gerak osilasi dan periodik.

Gambar 2-1. memperlihatkan sebuah bandul yang panjangnya l dengan massa partikelnya m , membentuk sudut θ dengan vertikal. Gaya yang bekerja pada m adalah mg , yaitu gaya gravitasi, dan T , tegangan tali. Jika dipilih sumbu-sumbu yang menyinggung lingkaran gerak dan yang berarah sepanjang jari-jari. Diuraikan mg atas komponen-komponen radial, dengan besar $mg \cos \theta$ dan komponen tangensial, dengan besar $mg \sin \theta$. Komponen radial dari gaya tersebut memberi sumbangan pada gaya sentripetal yang dibutuhkan agar benda tetap bergerak pada busur lingkaran. Komponen tangensialnya bertindak sebagai gaya pemulih yang bekerja pada m untuk mengembalikannya ke titik seimbang. Jadi gaya pemulihnya adalah :

$$F = -mg \sin \theta \dots\dots\dots (2.1)$$

dari persamaan (2.1), dapat dilihat gaya pemulih ini tidak sebanding dengan simpangan sudut θ , melainkan dengan $\sin \theta$. Tetapi jika sudut θ kecil, maka $\sin \theta$ hampir sama dengan θ bila dinyatakan dalam radian. Pergeseran sepanjang busur adalah $x = l\theta$, dan untuk sudut yang kecil keadaannya mendekati gerak dalam garis lurus.



Gambar 2-1 Gaya-gaya yang bekerja pada bandul matematis (Halliday, 1994).

Jadi, dengan menganggap $\sin \theta \cong \theta$, diperoleh :

$$F = -mg\theta = -mg \frac{x}{l} = -\left(\frac{mg}{l}\right)x \dots\dots\dots (2.2)$$

Untuk simpangan yang kecil gaya pemulihnya sebanding dengan simpangan dan berlawanan arah. Ini tidak lain ialah kriteria gerak harmonik sederhana. Konstanta

mg/l menyatakan konstanta k dalam $F = -kx$. Jadi periode bandul sederhana jika amplitudonya kecil adalah :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{mg/l}} \quad \text{atau} \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad \dots\dots \quad (2.3)$$

jadi periode ini tidak tergantung pada massa partikel yang digantungkan.

Jika amplitudo osilasinya tidak kecil persamaan umum periodenya adalah :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left(1 + \frac{1}{2^2} \cdot \sin^2 \frac{\theta_m}{2} + \frac{1}{2^2} \cdot \frac{3^2}{4^2} \cdot \sin^4 \frac{\theta_m}{2} + \dots \right) \quad (2.4)$$

θ_m adalah pergeseran sudut maksimum, suku-suku berikutnya makin lama makin bertambah kecil. Dengan deret ini periodenya dapat dihitung sampai berapapun tingkat ketelitian yang dikehendaki. Karena periode bandul sederhana ini praktis tidak bergantung kepada amplitudo, maka bandul ini sangat bermanfaat untuk penjaga waktu. Walaupun gaya redaman mengurangi amplitudo ayunan, periodenya dapat dikatakan hampir tidak berubah (Halliday, 1994).

Bandul Matematis merupakan suatu metoda yang teliti dan mudah untuk mengukur percepatan gravitasi (Sears, 1993). Cara pengukuran harga g , percepatan oleh gravitasi, tidak perlu melakukan percobaan jatuh bebas, cukup hanya dengan mengukur panjang tali (l) dan periode (T) saja.

2.2. Sensor

Masalah utama dalam teknik pengukuran dan pengaturan secara elektronik adalah mengubah besaran fisik (misalnya : temperatur, gaya, kecepatan putaran) menjadi besaran listrik yang proporsional. Pengubah yang melaksanakan hal ini

secara umum disebut sistem sensor. Termasuk dalam golongan ini adalah baik sensor yang sederhana maupun alat pemroses sinyal elektronik yang terhubung sesudahnya (misalnya penguat). Termasuk dalam golongan ini juga komponen yang dapat mendeteksi adanya gas dan kelembaban. Sensor harus memenuhi persyaratan-persyaratan kualitas yaitu :

Linearitas

Konversi harus betul-betul proporsional, jadi karakteristik konversi harus linear.

Tak tergantung temperatur

Keluaran konverter (*converter*) tidak boleh tergantung pada temperatur di sekelilingnya, kecuali sensor temperatur.

Waktu tanggapan

Waktu tanggapan adalah waktu yang diperlukan keluaran sensor untuk mencapai nilai akhirnya pada nilai masukan yang berubah secara mendadak. Sensor harus dapat berubah cepat bila nilai masukan pada sistem tempat sensor tersebut berubah.

Batas frekuensi terendah dan tertinggi

Batas-batas tersebut adalah nilai frekuensi masukan periodik terendah dan tertinggi yang masih dapat dikonversi oleh sensor secara benar. Pada kebanyakan aplikasi disyaratkan bahwa frekuensi terendah adalah 0 Hz.

Stabilitas waktu

Untuk nilai masukan (*input*) tertentu sensor harus dapat memberikan keluaran (*output*) yang tetap nilainya dalam waktu yang lama.

Histerisis.

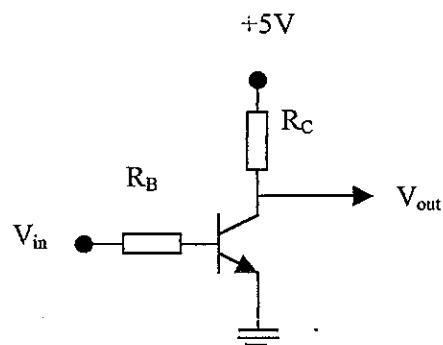
Gejala histerisis yang ada pada magnetisasi besi dapat pula dijumpai pada sensor. Misalnya pada suatu temperatur tertentu sebuah sensor dapat memberikan keluaran yang berlainan, tergantung pada keadaan apakah pada saat itu temperatur sedang naik atau turun. (Link, 1993).

2.3. Sensor Fotoelektrik.

Sensor fotoelektrik merupakan suatu sensor yang menggunakan cahaya sebagai media penghantarnya, dalam hal ini memanfaatkan cahaya yang terhalang dan tidak terhalang sebagai dua keadaan yang berbeda, sensor fotoelektrik terdiri atas LED berwarna merah atau LED inframerah yang menyinari fotodioda atau fototransistor sebagai penerimanya. Sensor fotoelektrik tersedia sebagai satu kesatuan atau terpisah dalam masing-masing kotak, kadang-kadang juga dilengkapi dengan lensa agar dapat mengenali sinyal kecil dengan lebih baik, atau untuk memperoleh jarak pengamatan yang lebih jauh (Link, 1993).

2.4 Transistor Sebagai Saklar

Transistor dapat difungsikan sebagai saklar dengan mengoperasikan pada dua keadaan yang dimiliki yaitu keadaan saturasi (jenuh) dan keadaan putus (*cut-off*). Keadaan saturasi dianggap sebagai saklar yang tertutup dan keadaan putus dianggap sebagai saklar yang terbuka (Malvino, 1994).



Gambar 2-2 Transistor sebagai saklar (Malvino, 1994).

Jika tegangan masuk V_{in} pada basis sama dengan nol maka transistor berada pada keadaan putus (*cut-off*), sehingga tegangan yang dikeluarkan transistor pada kolektor mendekati $V_{cc}(+5V)$. Keadaan ini transistor dianggap sebagai saklar terbuka. Jika tegangan masukan V_{in} pada basis dinaikkan maka transistor menuju ke keadaan jenuh (saturasi), sehingga tegangan pada kolektor mendekati nol. Keadaan ini transistor dianggap sebagai saklar yang tertutup.

2.5. Flip-Flop

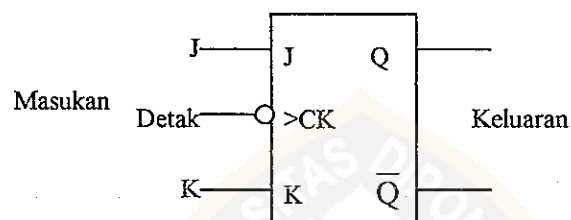
Flip-flop dapat digunakan untuk menyimpan informasi dalam mesin digital. Ada beberapa jenis pokok flip-flop dan banyak rancangan rangkaiannya, namun ada dua karakteristik yang dimiliki oleh semua flip-flop

1. Flip-flop merupakan piranti yang dwimantap, yaitu rangkaian yang hanya memiliki dua keadaan mantap yang diberi simbol keadaan 0 dan keadaan 1.
2. Flip-flop memiliki dua signal keluaran, yang merupakan komplemen dari yang lainnya (Bartee, 1994).

2.5.1. Flip-flop JK

Simbol suatu flip-flop JK ditunjukkan pada gambar 2-3. piranti ini dapat dianggap sebagai flip-flop universal. Simbol logika pada gambar 2-3 merupakan tiga masukan sinkron (J,K, dan CK). Masukan J dan K merupakan masukan data, dan masukan detak memindahkan data dari input ke output. Simbol logika pada gambar 2-3 menunjukkan keluaran normal (Q) dan keluaran komplementer (\bar{Q}).

Tabel kebenaran untuk flip-flop JK ditunjukkan pada tabel 2-1.



Gambar 2-3 Simbol logika untuk Flip-flop JK (Tokheim, 1994).

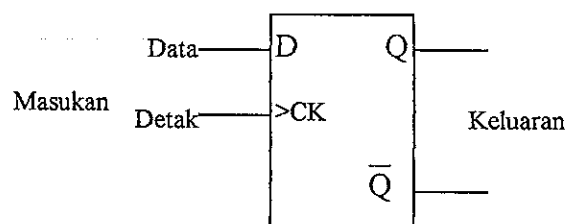
Tabel 2-1 Mode kebenaran untuk flip-flop JK yang dipacu pulsa

Mode Operasi	Masukan			Keluaran	
	CK	J	K	Q	\bar{Q}
Tetap	↑	0	0	Tidak Berubah	
Reset	↑	0	1	0	1
Set	↑	1	0	1	0
Togel	↑	1	1	Keadaan berlawanan	

2.5.2. Flip-Flop D

Simbol logika untuk flip-flop D yang umum digambarkan pada gambar 2-4. flip-flop D tersebut hanya mempunyai masukan data tunggal (D) dan masukan (CK). Keluaran Q dan \bar{Q} ditunjukkan pada sebelah kanan simbol

tersebut, flip-flop D seringkali disebut sebagai flip-flop tunda. Apapun bentuk masukan data (D) akan tertunda selama satu pulsa detak untuk mencapai keadaan normal (Q). data dipindahkan ke output pada transisi pulsa detak RENDAH-ke-TINGGI. (Tokheim, 1994).



Gambar 2-4. Simbol logika untuk flip-flop D

2.6. Pencacah

Pencacah adalah sebuah register yang mampu menghitung jumlah pulsa detak yang masuk melalui masukan detaknya (Malvino, 1994)

Pencacah merupakan rangkaian elektronika digital yang penting. Pencacah merupakan rangkaian logika pengurut. Hal ini jelas, karena pencacah membutuhkan karakteristik memori, dan pewaktu memegang peranan yang penting. Pencacah digital (*digital counters*) mempunyai karakteristik penting yaitu sebagai berikut :

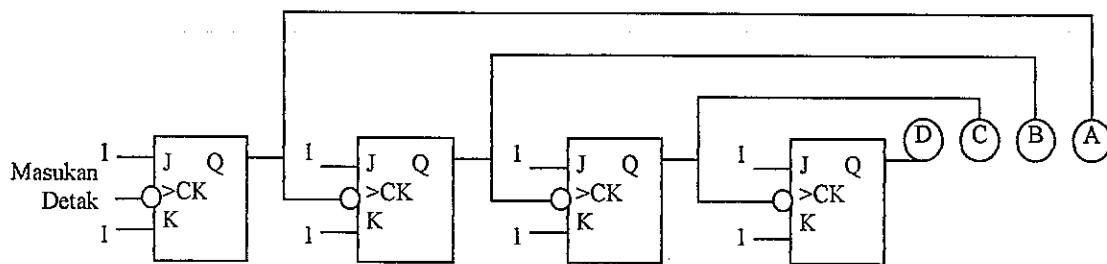
1. Jumlah hitungan maksimum (modulus pencacah)
2. Menghitung keatas atau kebawah
3. Operasi asinkron atau sinkron
4. Bergerak bebas atau berhenti sendiri.

Untuk menyusun pencacah digunakan flip-flop. Pencacah dapat digunakan untuk menghitung banyaknya klok (detak) pulsa dalam waktu yang tersedia (pengukuran frekuensi), dapat juga digunakan untuk membagi frekuensi dan menyimpan data seperti dalam detak digital, dan dapat juga digunakan dalam pengurutan alamat dan dalam beberapa rangkaian aritmatika.

2.6.1. Pencacah Gelombang

Pencacah digital hanya akan menghitung dalam biner atau dalam kode biner. Suatu pencacah digital yang menghitung biner 0000 sampai 1111, dapat disebut sebagai pencacah modulo-16. Modulus dari suatu pencacah adalah jumlah hitungan yang dilaluinya. Istilah “modulo” kadang-kadang disingkat dengan “mod”. Dengan demikian maka pencacah ini dapat disebut sebagai suatu pencacah mod-16. Diagram logika dari pencacah mod-16 yang menggunakan flip-flop JK ditunjukkan pada gambar 2-5. Mula-mula masukan J dan K dari flip-flop tersebut dihubungkan ke logika 1, hal ini berarti bahwa masing-masing flip-flop berada dalam mode togel. Kemudian masing-masing pulsa detak akan menyebabkan flip-flop mentogel ke keadaannya yang berlawanan, keluaran dari FF1 (Flip-flop 1) dihubungkan secara langsung ke masukan detak (CK) dari unit berikutnya (FF2), dan sebagainya. Indikator keluaran (lampu atau LED) untuk memantau (memonitor) keluaran biner dari penghitung tersebut. Gelembung pada masukan detak (CK) dari flip-flop JK pada gambar 2-5 berarti bahwa unit tersebut akan mentogel pada transisi pulsa detak TINGGI-ke-RENDAH. Jenis penghitung seperti ini disebut pencacah gelombang (*ripple counter*). Nama ini

diberikan karena pemacuan dari masing-masing flip-flop ke flip-flop berikutnya berpengaruh seperti gelombang-gelombang yang melalui pencacah tersebut. Penghitungan ini disebut sebagai pencacah asinkron (*asynchronous counter*) karena tidak semua flip-flop mentogel tepat serempak dengan pulsa detak.

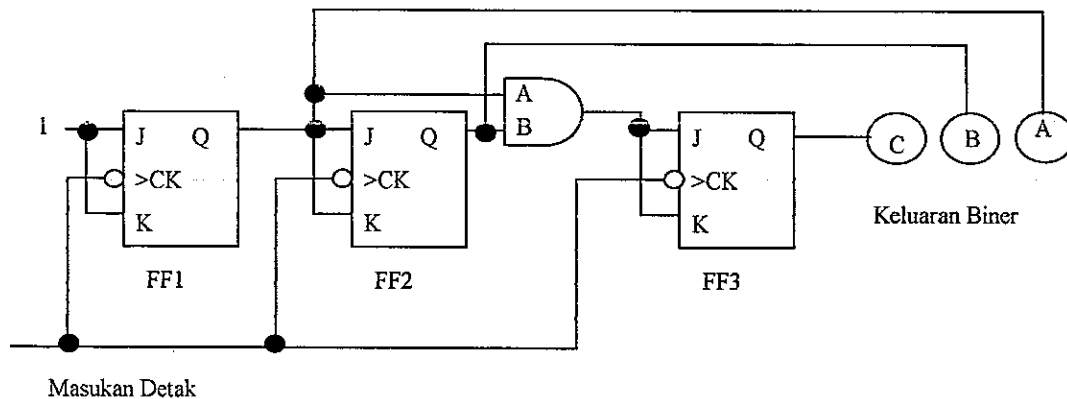


Gambar 2-5 Pencacah Gelombang 4-bit (Tokheim, 1994).

2.6.2. Pencacah Pararel

Kelemahan pencacah asinkron adalah mempunyai keterbatasan dari kelambatan waktu dalam pemacuan semua flip-flop. Untuk mengatasi kelambatan waktu digunakan pencacah paralel (*parallel counters*). Diagram simbol logika untuk suatu pencacah paralel 3-bit digambarkan pada gambar 2-6, semua masukan CK langsung digabungkan ke masukan detak. Jadi, pencacah ini dirangkai secara paralel. FF1 merupakan pencacah bagian 1 dan flip-flop ini selalu dalam keadaan togel. FF2 mempunyai masukan J dan K yang digabungkan ke keluaran FF1. FF2 berada pada mode detak atau mode togel. keluaran dari FF1 dan FF2 dimasukkan ke gerbang AND. Gerbang AND ini mengontrol mode operasi ke FF3. Bila gerbang AND diaktifkan oleh logika 1 pada A dan B, maka

FF3 akan berada pada mode tetap. FF2 merupakan pencacah bagian 2 dan FF3 adalah penghitung bagian 4.

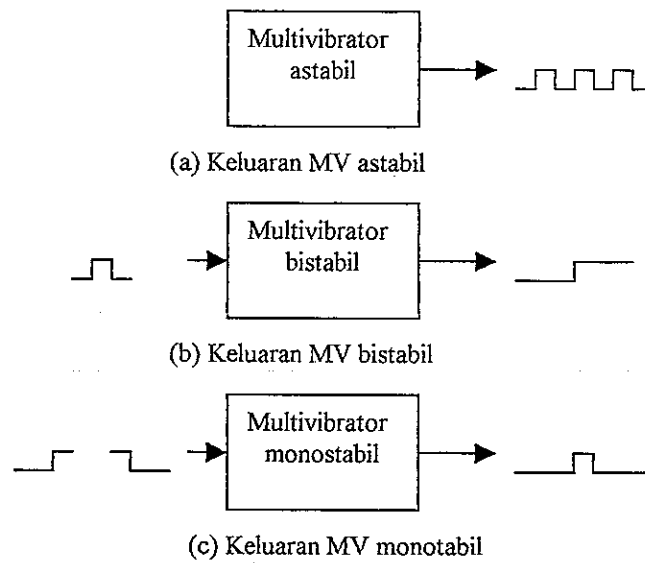


Gambar 2-6 Diagram simbol logika pencacah paralel 3-bit (Tokheim, 1994)

2.7. Multivibrator

Multivibrator (MV) adalah rangkaian pembangkit pulsa yang menghasilkan keluaran gelombang segi-empat. Multivibrator diklasifikasikan menjadi multivibrator astabil, bistabil, dan monostabil. Suatu multivibrator astabil juga disebut dengan multivibrator bergerak bebas. MV astabil (tak stabil) menghasilkan aliran kontinu pulsa-pulsa sebagaimana digambarkan dalam gambar 2-7 a.

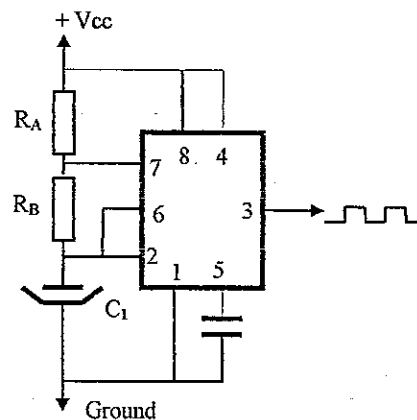
Multivibrator bistabil disebut juga dengan flip-flop. MV bistabil selalu dalam keadaan stabil satu atau dua (set atau reset). Bentuk dasar dari MV bistabil digambarkan dalam gambar 2-7b, dengan pulsa masukan memicu perubahan bentuk keluaran dari RENDAH-ke-TINGGI.



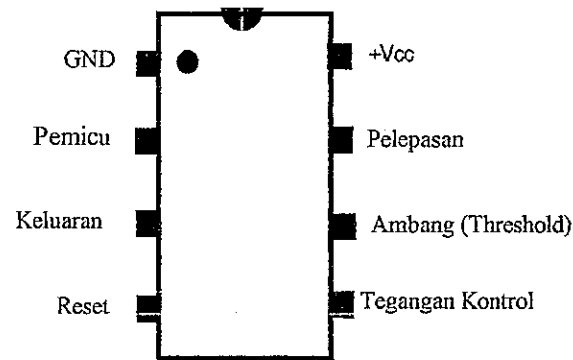
Gambar 2-7 Keluaran Multivibrator (Tokheim, 1994)

Multivibrator monostabil disebut juga multivibrator satu pulsa. Ketika satu pulsa dipicu, sebagaimana terlihat pada gambar 2-7c, maka multivibrator menghasilkan satu pulsa pendek.

Multivibrator astabil adalah multivibrator yang mengeluarkan pulsa kontinyu. Karakteristik terpenting dari multivibrator astabil adalah frekuensi, waktu putaran, stabilitas frekuensi dan bentuk gelombang yang mantap.



Gambar 2.8. Rangkaian Pewaktu astabil (Malvino, 1991)



Gambar 2.9. Kemasan DIP 8 IC 555
(Coughlin dan Driscoll, 1985)

IC pewaktu 555 multiguna dapat digunakan sebagai multivibrator astabil, bistabil, dan monostabil. Pewaktu 555 menunjukkan hubungan seperti multivibrator astabil (bergerak bebas) dalam gambar 2-8. frekuensi keluarannya adalah :

$$f = \frac{1,44}{(R_A + 2R_B)C} \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan : f = frekuensi dalam kHz

R = hambatan dalam $k\Omega$

C = kapasitas kondensator dalam μF