BAB II
DASAR TEORI

2.1 *Digital Signal Processor* (DSP).

Digital Signal Processing yang dikenal dengan pemrosesan sinyal digital atau lebih kepada cara proses suatu sinyal digital. Akan tetapi DSP yang akan dibahas yaitu *Digital Signal Processor* yang berarti *processor* yang dirancang khusus untuk pemrosesan sinyal *digital*.

Gambar 2.1 DSP seri *TMS* 320c6713

Yang lebih mendasar dari DSP yaitu berasal dari texas instruments atau yang sering juga disebut dengan seri *TMS*. Pada prosesor ini memiliki arsitektur khusus yang disebut dengan *velocity*, dengan arsitektur ini prosesor mempunyai fitur superscalar yang dapat memproses instruksi hingga 8 kali. Hal ini dikarenakan *processor* ini mempunyai 8 ALU *(arithmetic logic unit)* yang digunakan sebagai media penghitung, yang dimana dapat menjalankan 8 instruksi sekaligus dalam 1 *clock*. Contoh prosesor tipe *TMS*320C6455 memliki 8 ALU dengan *clock* sebesar 1.2 GHz. Dengan kata lain prosesor ini dapat menjalankan 8 x 1.2 GHz instruksi dalam 1 detik atau nama kerennya 9.6 GIPS *(Giga Instructions per Second).*

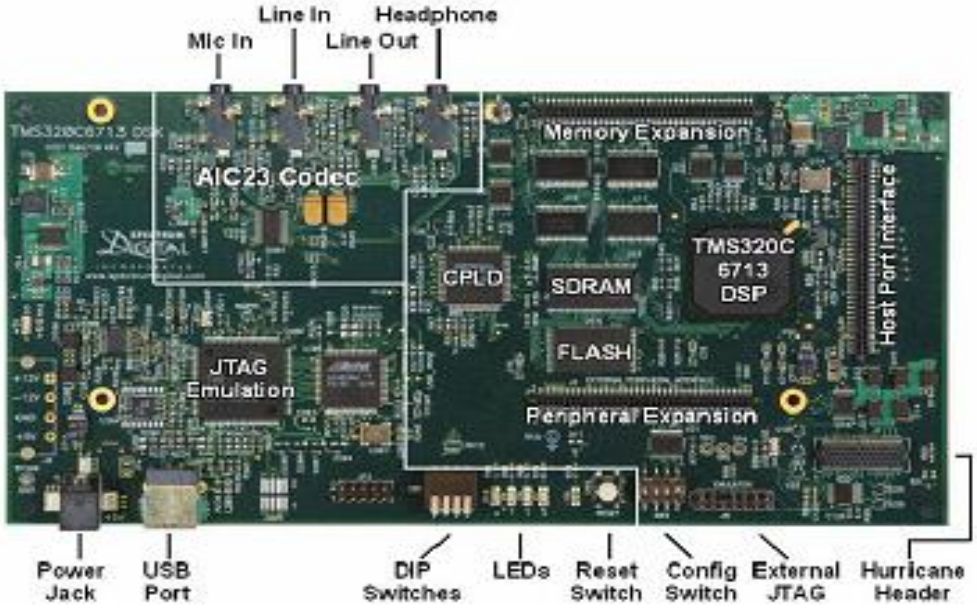
Processor tipe ini menggunakan dasar arsitektur *Harvard* dengan kemampuan dapat mengakses JTAG untuk simulasi dan analisis dan juga sistem pengaksesan *memory* yaitu *Little Endian* dan *Big Endian*.

2.2 Digital Starter Kit (DSK) *TMS* 320c6713

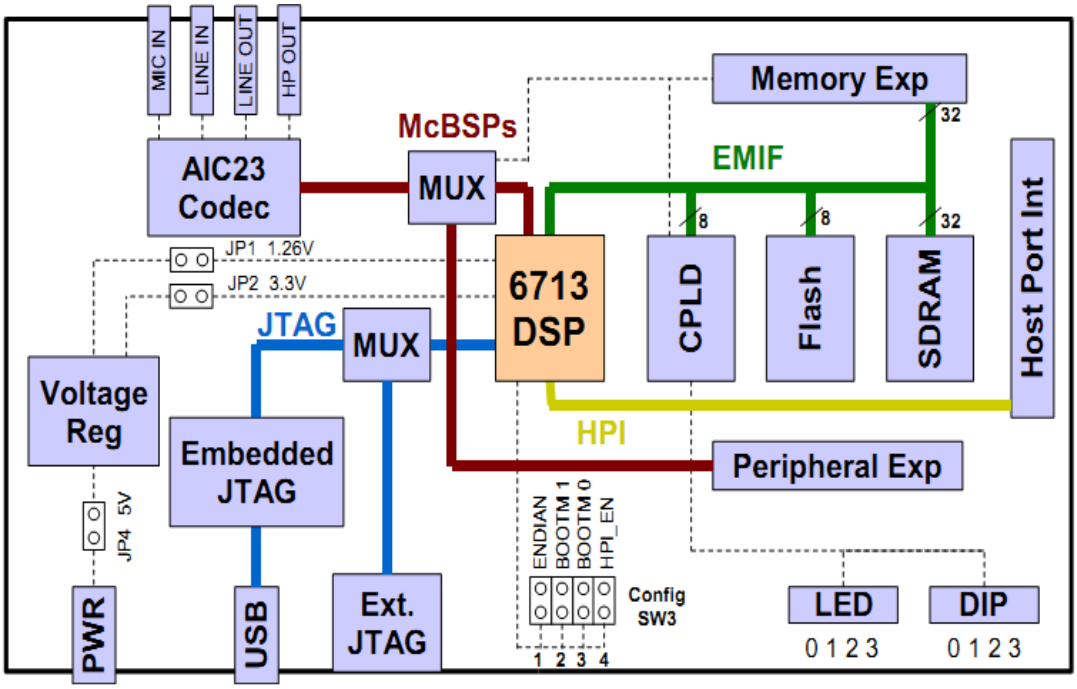
Pemrosesan sinyal digital seperti *TMS* 320C6713 adalah mikroprosesor dengan tipe khusus pada arsitekturnya dan merupakan sebuah instruksi yang cocok untuk pemrosesan sinyal. Pemrosesan sinyal digital digunakan untuk aplikasi pada *range* yang lebar dan biasanya digunakan pada komunikasi kontrol hingga *image processing*. Dan merupakan salah satu DSP tipe C6000 yang dapat bekerja pada *fixed-point* maupun *floating-point processor* yang didasari pada arsitektur VLIW (*Very-Long-Instruction-Word*). Tetapi, DSP ini masih berupa *starter kit*, yaitu suatu *platform* yang dapat mensimulasikan DSP C6713 yang sebenarnya. Memori internal meliputi 2 level penyimpanan daya, yang terdiri dari 4 KB pada level penyinpanan program (L1P), 4 KB pada level 1 penyimpanan data (L1D), dan 256 pada level 2 pembagian memori antara program dan data. Selain itu, juga mempunyai sebuah antarmuka untuk memerintah *synchronous* dan *memory* (SDRAM dan SBSRAM) dan *asynchronous memory* (SPRAM dan EPROM).

2.2.1 Fitur Utama

DSK 320c6713 merupakan salah satu pengembangan perangkat yang berbiaya rendah yang memungkinkan pengguna dalam mengevaluasi dan mengembangkan aplikasi untuk seri sejenis DSP TI c67xx. DSK juga melayani rancangan referensi perangkat keras untuk DSP *TMS*320C6713. Skema, persamaan logika dan catatan aplikasi telah tersedia untuk memudahkan pengembangan perangkat keras dan memperkecil waktu pemasaran.



Gambar 2.2 Modul *TMS* 320c6713



Gambar 2.3 Blok-blok diagram C6713

DSK hadir dengan perangkat *on-board* yang memiliki fitur lengkap sesuai dengan berbagai aplikasi yang dapat di gunakan pada berbagai macam aplikasi.

Fitur –fitur utama termasuk :

- Sebuah *Texas Instruments TMS*320C6713 DSP yang bekerja pada 225 MHz
- Sebuah AIC23 *stereo codec*
- 16 Mbytes dari DRAM *sinkron*
- 512 Kbytes dari *non-volatile flash memory* (256 kbytes yang digunakan pada konfigurasi standar)
- Memiliki 4 LED dan DIP yang dapat diakses oleh pengguna
- Konfigurasi software diimplementasikan pada CPLD
- Pengaturan pilihan *boot*
- Standar konektor ekspansi untuk penggunaan *daughter card*
- *Single voltage power supply* (+5V)

2.2.2 Gambaran Fungsi dari *TMS*320C6713 DSK

DSP pada DSK 6713 terhubung ke perangkat *on-board* melalui EMIF (*External Memory Interface*) dengan lebar 32-bit. SDRAM, Flash dan CPLD semua terhubung ke bus. Dan sinyal EMIF juga terhubung ke konektor kartu ekspansi yang digunakan sebagai penerima ketiga yang di tambahkan pada modul.

DSP terhubung ke sinyal audio analog melalui on-modul AIC23 codec dan mempunyai empat colokan audio 3,5 mm (mikrofon input, line input, line output, dan headphone output). Codec dapat memilih mikrofon input atau line input sebagai jalur masukan yang aktif. Output analog di bawa ke kedua jalur keluar (*fixed gain*) dan konektor headphone (*gain* yang di sesuaikan). McBSP0 digunakan untuk mengirim perintah ke kontrol antarmuka codec sedangkan McBSP1 digunakan untuk data audio digital. McBSP0 dan McBSP1 dapat diteruskan kembali ke konektor ekspansi dalam perangkat lunak.

Sebuah perangkat *programmable logic* disebut CPLD digunakan untuk mengimplementasikan logika "*glue*" yang mengikat komponen modul bersama-sama. CPLD ini memiliki antarmuka pengguna yang berbasis register yang dapat memungkinkan pengguna mengkonfigurasi modul dengan membaca dan menulis ke register.

DSK memiliki 4 LED dan mempunyai 4 posisi saklar DIP sebagai cara sederhana bagi pengguna untuk umpan balik yang interaktif. Keduanya diakses dengan membaca dan menulis CPLD register.

Dan termasuk sebuah catu eksternal 5V yang digunakan untuk daya ke modul. On-modul *switching regulator* tegangan menyediakan 1,26 V DSP tegangan inti dan 3,3 V I / O persediaan. Modul di reset sampai persediaan ini berada dalam syarat pengoperasian.

Kode Komposer berkomunikasi dengan DSK melalui sebuah emulator JTAG yang tertanam dengan antarmuka USB host. DSK juga dapat digunakan dengan emulator eksternal melalui konektor JTAG eksternal.

2.2.3 Operasi Dasar

DSK ini dirancang agar dapat bekerja dengan CCS(*Code Composer Studio*) TI dengan versi yang khusus dirancang untuk bekerja dengan modul. Kode Komposer berkomunikasi dengan modul menggunakan *on-board JTAG emulator*. Untuk memulai, ikuti petunjuk dalam *quick start guide* untuk menginstal Kode Komposer. Proses ini akan menginstal semua *development tool*, dokumentasi dan driver yang di butuhkan.

Setelah proses instal selesai, ikuti langkah-langkah ini untuk menjalankan Kode Komposer. DSK harus terkoneksi sepenuhnya untuk menampilkan *DSK version* dari komposer kode.

1) Hubungkan catu daya ke DSK.
2) Hubungkan DSK ke PC menggunakan kabel USB standar
3) Jalankan Kode Komposer dari ikon yang ada di desktop Anda.

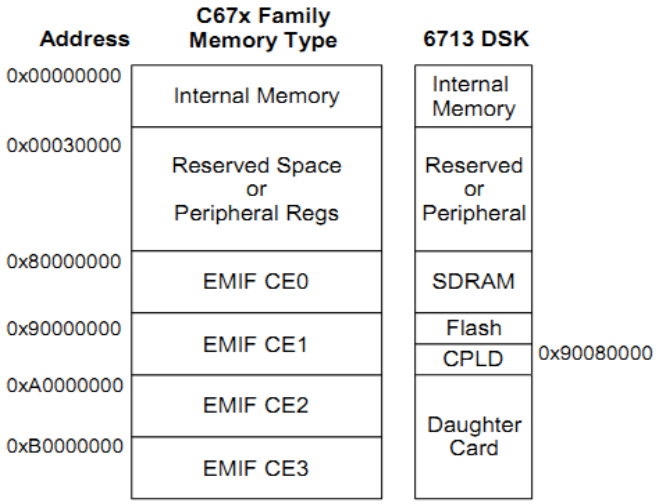
Informasi yang lebih detail tentang DSK mencakup tutorial, contoh dan materi refrensi lainnya yang tersedia dalam *help file DSK*. Anda dapat mengakses *help file* melalui *help menu* yang ada pada Kode Komposer. Hal ini juga dapat dijalankan langsung dengan mengklik dua kali (*double-clicking*) file c6713 pada docs/*help* subdirektori pada kode komposer.

2.2.4 Memory Map

C67xx merupakan salah satu seri dari DSP memiliki ruang *byte addressable* yang luas. Kode program dan data dapat ditempatkan di manapun di *address space* terpadu. *Addresses* selalu mempunyai lebar s32-bit.

Memory map menunjukkan *address space* pada sebuah prosesor 6713 umum di sebelah kiri dengan rincian spesifik tentang bagaimana masing-masing daerah yang digunakan di sebelah kanan. Secara standar, memori internal berada di awal *address space*. Bagian dari memori internal dapat dikonfigurasikan ulang dalam perangkat lunak sebagai cache L2 daripada fixed RAM.

EMIF memiliki 4 wilayah yang bisa dialamatkan secara terpisah yang disebut Chip Enable Space (CE0-CE3). SDRAM menempati CE0 sedangkan Flash dan CPLD berbagi CE1. CE2 dan CE3 secara umum dicadangkan untuk *daughtercards*.



Gambar 2.4 Memory Map c6713 DSK

2.2.5 Konfigurasi Pengaturan Tombol

DSK mempunyai 4 tombol konfigurasi yang memungkinkan pengguna untuk mengontrol keadaan operasional dari DSP ketika dilepaskan dari reset. Blok tombol konfigurasi diberi label SW3 pada modul DSK, di sebelah tombol reset.

Tombol konfigurasi 1 mengontrol DSP sedangkan tombol 2 dan 3 mengkonfigurasi *boot mode* yang akan digunakan ketika DSP mulai dijalankan.

Tombol konfigurasi 4 mengontrol multiplexing on-chip pada sinyal HPI dan McASP dibawa keluar ke konektor ekspansi HPI. Secara standar, semua tombol dimatikan yang disesuaikan pada *boot* EMIF (lebih dari 8-bit Flash) dalam mode *little endian* dan sinyal HPI pada konektor ekspansi HPI.

Tabel 2.1 Konfigurasi pengaturan tombol

Switch 1	Switch 2	Switch 3	Switch 4	Deskripsi Konfigurasi
off				Little endian (default)
on				Big endian
	off	off		EMIF boot from 8-bit Flash
	off	on		HPI/Emulation Boot
	on	off		32-bit EMIF boot
		on		16-bit EMIF boot
			Off	HPI Enabled on HPI Pins
			On	McASP1 Enable on HPI Pins

2.2.6 Power Supply

DSK beroperasi dari catu daya tunggal +5 V external yang terhubung ke daya input (J5). Secara internal, +5 V input diubah menjadi 1,26 V dan 3,3 V menggunakan regulator tegangan yang terpisah. Pada supply 1,26 V digunakan untuk inti DSP sementara suply 3,3 V digunakan untuk buffer DSP I / O dan semua chip lainnya pada modul. Daya konektornya adalah plug 2.5mm bertipe barel.

Ada tiga poin tes daya pada DSK di JP1, JP2 dan JP4. Semua arus I / O melintas melewati JP2 sementara semua arus inti melintas melewati JP1. Semua arus sistem melewati JP4. Biasanya ada jumper yang ditutup. Untuk mengukur arus yang melintas melewati jumper yang tertutup dan menghubungkan pin dengan perangkat pengukur arus seperti multimeter atau arus probe.

Hal ini memungkinkan untuk menyediakan *daughter card* dengan +12 V dan -12V ketika tenaga eksternal konektor (J6) digunakan.

2.3 Komponen Utama

2.3.1 CPLD (Programmable Logic)

DSK C6713 menggunakan Altera EPM3128TC100-10 *Complex Programmable Logic Device* (CPLD), sebuah perangkat untuk menjalankan:

- 4 kontrol *memory-mapped* / status register yang memungkinkan perangkat lunak mengendalikan berbagai fitur modul.
- Pengendalian *daughter card* antarmuka dan sinyal.
- Aneka logika "*glue*" yang mengikat komponen modul bersama-sama.

2.3.1.1 Tinjauan CPLD

Logika CPLD digunakan untuk melaksanakan fungsi tertentu pada DSK. Desain hardware anda sendiri akan terlihat menerapkan pengaturan fungsi yang secara keseluruhan berbeda atau mengambil manfaat dari integrasi DSP tingkat tinggi untuk desain sistem dan menghindari penggunaan logika eksternal sepenuhnya.

CPLD mengimplementasikan fungsi logika acak sederhana yang menghilangkan kebutuhan perangkat diskrit tambahan. Secara khusus, CPLD mengumpulkan berbagai macam sinyal reset yang datang dari tombol reset dan tenaga supervisor dan menghasilkan global reset.

EPM3128TC100-10 adalah 3.3V (toleransi 5V), 100-pin QFP perangkat yang menyediakan 128 macrocells, 80 I / O pin, dan 10 ns pin-to-pin penundaan.

Perangkat ini berbasis EEPROM dan merupakan *in-system* yang dapat diprogram melalui antarmuka JTAG (sebuah header 10-pin pada DSK). File sumber CPLD ditulis dalam industri standar VHDL (*Hardware design language)* dan disertai dengan DSK.

2.3.1.2 Register CPLD

Keempat CPLD *memori-mapped* register memungkinkan pengguna untuk mengontrol fungsi CPLD dalam perangkat lunak. Pada 6713 DSK register terutama digunakan untuk mengakses tombol LED dan DIP dan mengontrol antarmuka *daughter card*. Register dipetakan ke EMIF CE1 ruang data di alamat

0x90080000. Mereka muncul sebagai 8-bit register dengan antarmuka *memory asynchronous* sederhana. Tabel berikut memberikan gambaran tingkat tinggi dari CPLD register dan bidang bit mereka:

Tabel 2.2 Definisi CPLD register

off set	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
0	USER_REG	USR_SW3 R	USR_SW 2 R	USR_SW 1 R	USR_SW 0 R	USR_LED 3 R/W 0(OFF)	USR_LE D2 R/W 0(OFF)	USR_LED1 R/W 0(OFF)	USR_LED0 R/W 0(OFF)
1	DC_REG	DC_DET R	0	DC_STAT 1 R	DC_STAT 0 R	DC_RST R 0 No reset)	0	DC_CNTL 1 R/W 0(Low)	DC_CNTL0 R/W 0(Low)
4	VERSION	CPLD_VER[3.0] R				0	BOARD VERSION[2.0] R		
6	MISC	SCR_5 R/W 0	SCR_4 R/W 0	SCR_3 R/W 0	SCR_2 R/W 0	SCR_1 R/W 0	FLASH_ PAGE R/W 0 (Flash A19=0)	McBSP1 ON/OFF Board R/W 0 (Onboard)	McBSP0 ON/OFF Board R/W 0 (Onboard)

2.3.2 USER_REG Register

USER_REG digunakan untuk membaca situasi pada tombol 4 DIP dan menyalakan atau mematikan 4 LED untuk memungkinkan pengguna berinteraksi dengan DSK. Tombol DIP dibaca dengan membaca 4 bit teratas dari register dan LED diatur dengan menulis ke 4 bit rendah.

Tabel 2.3 CPLD PENGGUNA REG Register

Bit	Name	R/W	Description
7	USER_SW3	R	User Dip Switch 3(1 = Off, 0 = On)
6	USER_SW2	R	User Dip Switch 2(1 = Off, 0 = On)
5	USER_SW1	R	User Dip Switch 1(1 = Off, 0 = On)
4	USER_SW0	R	User Dip Switch 0(1 = Off, 0 = On)

3	USER_LED3	R/W	User-defined LED 3 Control (0 = Off, 1 = On)
2	USER_LED2	R/W	User-defined LED 2 Control (0 = Off, 1 = On)
1	USER_LED1	R/W	User-defined LED 1 Control (0 = Off, 1 = On)
0	USER_LED0	R/W	User-defined LED 0 Control (0 = Off, 1 = On)

2.3.2.1 DC_REG register

DC_REG digunakan untuk memantau dan mengontrol antarmuka *daughter card*. DC_DET mendeteksi kehadiran *daughter card*. DC_STAT dan DC_CNTL menyediakan komunikasi sederhana dengan *daughter card* melalui jalur status yang dapat dibaca dan jalur kontrol yang dapat ditulis.

Daughter card dijalankan dari reset ketika DSP juga dijalankan dari reset. DC_RST dapat digunakan untuk mengembalikan kartu ke dalam reset.

Tabel 2.4 DC_REG register

Bit	Name	R/W	Description
7	DC_DE	R	Daughter Card Detect (1= Board detected)
6	0	R	Always zero
5	DC_STAT1	R	Daughter Card Status 1 (0=Low, 1 = High)
4	DC_STAT0	R	Daughter Card Status 0 (0=Low, 1 = High)
3	DC_RST	R/W	Daughter Card Reset (0=No Reset, 1 = Reset)
2	0	R	Always zero
1	DC_CNTL1	R/W	Daughter Card Control 1(0 = Low, 1 = High)
0	DC_CNTL0	R/W	Daughter Card Control 0(0 = Low, 1 = High)

2.3.2.2 VERSION register

Register VERSION berisi dua bidang yang hanya untuk dibaca yang mengindikasikan versi modul dan CPLD. Register ini akan memungkinkan perangkat lunak Anda untuk membedakan antara produksi dari DSK dan account

untuk beragam varians. Register ini tidak diubah untuk mengganti secara sering, jika sama sekali.

Tabel 2.5 Version register bit definitions

Bit #	Name	R/W	Description
7	CPLD_VER3	R	Most Significant CPLD Version Bit
6	CPLD_VER2	R	CPLD Version Bit
5	CPLD_VER1	R	CPLD Version Bit
4	CPLD_VER0	R	Least Significant CPLD Version Bit
3	0	R	Always zero
2	DSK_VER2	R	Most Significant DSK Board Version Bit
1	DSK_VER1	R	DSK Board Version Bit
0	DSK_VER0	R	Least Significant DSK Board Version Bit

2.3.2.3 MISC Register

Register MISC digunakan untuk menyediakan kontrol perangkat lunak untuk aneka fungsi modul. Pada 6713 DSK, MISC register mengontrol bagaimana sinyal tambahan dibawa keluar menuju ke daughter card konektor.

McBSP0 dan McBSP1 biasanya digunakan sebagai port kontrol dan port data pada modul AIC23 codec. Situasi *power-on* pada bit-bit tersebut (keduanya 0s) dan mewakili kondisi tersebut. Mengatur kecocokan McBSP dalam memilih bit untuk menggunakan McBSP dengan *daughter card* sebagai gantinya.

Flash dan CPLD berbagi CE1 yang berarti bahwa DSP tertinggi dengan alamat bit (A21) digunakan untuk membedakan antara keduanya. Bit FLASH_PAGE digerakkan menuju Flash sebagai pengganti untuk jalur alamat yang terhubung ke A19 dari Flash. Pada DSK standar, Flash on-modul tidak cukup besar untuk bit ini agar menjadi signifikan. FLASH_PAGE hanya berguna jika modul tersebut kembali dengan pin chip flash yang kompatibel yang lebih besar. Bit yang tergores tidak terpakai. Bit-bit tersebut dapat diatur ke nilai apapun.

Table 2.6 MISC register

Bit	Name	R/W	Description
7	SCRATCH_5	R/W	Scratch bit 5
6	SCRATCH_4	R/W	Scratch bit 4
5	SCRATCH_3	R/W	Scratch bit 3
4	SCRATCH_2	R/W	Scratch bit 2
3	SCRATCH_1	R/W	Scratch bit 1
2	FLASH_PAGE	R/W	Flash address bit 19
1	MCBSP1SEL	R/W	McBSP1 on/off board (0 = on-board, 1 = off-board)
0	MCBSP0SEL	R/W	McBSP0 on/off board (0 = on-board, 1 = off-board)

2.3.3 AIC23 Codec

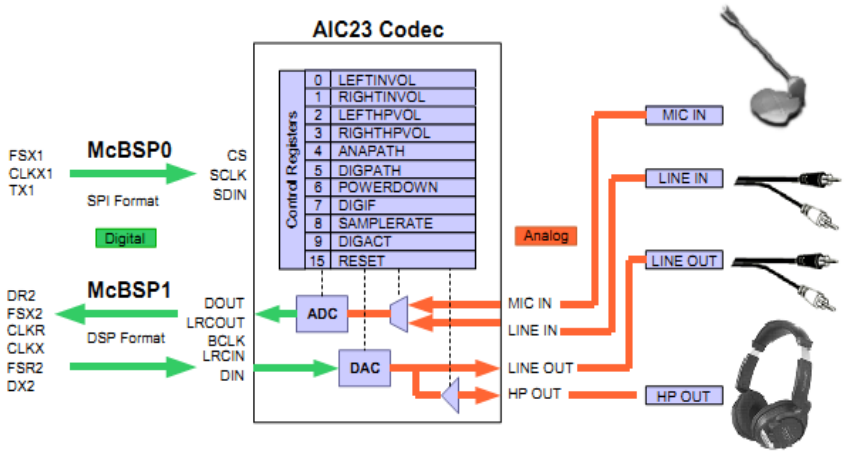
DSK menggunakan *Texas Instruments* AIC23 (bagian # TLV320AIC23) codec stereo untuk input dan output pada sinyal audio. Sampel codec sinyal analog pada mikrofon atau jalur input dan mengubahnya menjadi data digital sehingga dapat diproses oleh DSP. Ketika DSP diselesaikan dengan data, digunakanlah codec untuk mengubah kembali sampel menjadi sinyal analog pada jalur dan output headphone sehingga pengguna bisa mendengar output.

Codec berkomunikasi menggunakan dua saluran serial, satu untuk pengendalian konfigurasi internal codec register dan satu untuk mengirim dan menerima sampel audio digital. McBSP0 digunakan sebagai saluran kontrol searah. Ini harus diprogram untuk mengirim 16- bit kata kontrol ke AIC23 dalam format SPI. 7 bit teratas dari kata kontrol harus menentukan register yang akan diubah dan 9 yang lebih rendah harus berisikan nilai register. Saluran kontrol hanya digunakan ketika mengkonfigurasi codec, pada umumnya saat data audio sedang dikirim.

McBSP1 digunakan sebagai saluran data bi-directional. Semua data audio mengalir melalui saluran data. Banyaknya format data yang didukung didasarkan

pada tiga variabel dari lebar sampel, sumber detak sinyal dan format data serial. Contoh DSK secara umum menggunakan lebar sampel 16-bit dengan codec dalam modus master sehingga menghasilkan frame yang sinkron dan *clock* bit pada sample rate yang benar tanpa usaha pada sisi DSP. Pada Format seri yang dipilih adalah mode DSP yang dirancang khusus untuk beroperasi dengan McBSP port pada TI DSPs.

Codec ini memiliki *clock* sistem 12MHz. *Clock* sistem 12MHz sesuai dengan tingkat USB sampel mode, dinamakan demikian karena banyak sistem USB menggunakan *clock* 12MHz dan dapat menggunakan *clock* yang sama untuk kedua codec dan USB controller. Tingkat internal sampel menghasilkan pembagian *clock* 12MHz untuk menghasilkan frekuensi yang umum seperti 48KHz, 44.1kHz dan 8KHz. Tingkat sampel ditetapkan oleh SampleRate codec yang register. Gambar di bawah menunjukkan antarmuka codec pada DSK C6713.



Gambar 2.5 *TMS*320c6713 DSK *codec interface*

2.3.4 Synchronous DRAM

DSK menggunakan 128 megabit sinkron DRAM (SDRAM) pada EMIF 32-bit. SDRAM dipetakan pada permulaan CE0 (dengan alamat 0x80000000). Total memori yang tersedia adalah 16 megabyte. Pengontrol SDRAM yang terintegrasi adalah bagian dari EMIF dan harus dikonfigurasikan ke dalam perangkat lunak untuk operasi yang tepat. *Clock* EMIF berasal dari Pengaturan PLL dan harus dikonfigurasikan ke dalam perangkat lunak pada 90MHz. Jumlah ini didasarkan

pada *clock* PLL internal pada 450MHz yang diperlukan untuk mencapai operasi 225MHz dengan pembagi 2 dan *clock* EMIF 90MHz dengan pembagi 5.

Bila menggunakan SDRAM, kontroler harus diatur untuk me-refresh satu baris dari setiap memori *array* 15,6 mikrodetik untuk menjaga integritas data. Dengan *clock* EMIF 90MHz, periode ini adalah 1400 siklus bus.

2.3.5 Flash Memory

Flash adalah jenis memori yang tidak kehilangan isinya ketika power dimatikan. Ketika membaca flash tampak seperti asinkron sederhana pada read-only memory (ROM). Flash dapat dihapus dalam blok besar yang biasanya disebut sebagai sektor atau halaman. Setelah blok dihapus sekali, setiap kata dapat diprogram sekali melalui urutan perintah khusus. Setelah itu seluruh blok harus dihapus lagi untuk mengubah isinya.

DSK menggunakan Flash eksternal 512 Kbyte sebagai pilihan boot. Hal ini terlihat pada awal dari CE1 (alamat 0x90000000). Flash terhubung pada 256 kbytes dengan perangkat 16 bit untuk mendukung 16-bit pilihan boot pada DSK. Namun, perangkat lunak pada DSK memperlakukan Flash sebagai perangkat 8-bit (mengabaikan 8 bit teratas) untuk mencocokkan pengaturan 8-bit booting mode pada standar 6713. Dalam konfigurasi ini, hanya 256 Kbytes yang dapat digunakan tanpa perubahan *software*.

2.3.6 LEDs and DIP Switches

DSK meliputi 4 perangkat lunak LED (D7-D10) yang dapat diakses dan DIP switch (SW1) yang menyediakan pengguna suatu bentuk sederhana dari input / output. Keduanya diakses melalui CPLD USER_REG register.

2.3.7 Daughter Card Interface

DSK menyediakan tiga konektor ekspansi yang dapat digunakan untuk menerima plug-in dari *daughter card*. *Daughter card* memungkinkan pengguna untuk membangun *platform* DSK mereka untuk memperluas kemampuan dan

menyediakan pelanggan dan aplikasi spesifik I/ O. Konektor ekspansi digunakan untuk memori, perangkat, dan host port antarmuka (HPI).

Konektor memori menyediakan akses ke sinyal EMIF asinkron DSP untuk antarmuka dengan memori dan perangkat *memori-mapped*. Ini mendukung pengiriman byte pada batas 32 bit. Konektor perifer membawa sinyal-sinyal perifer DSP seperti McBSPs, waktu, dan *clock*. Kedua konektor memberikan inputan dan ground ke *daughter card*.

HPI adalah antarmuka kecepatan tinggi yang dapat digunakan untuk memungkinkan beberapa DSP terhubung dan bekerja sama pada tugas yang diberikan. Konektor HPI mengeluarkan sinyal kontrol HPI tertentu.

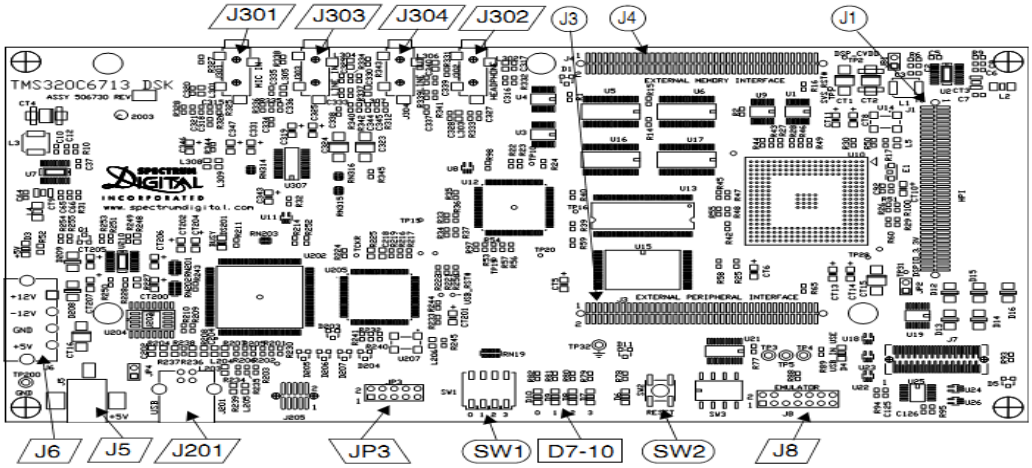
Sebagian besar sinyal konektor ekspansi terhambat sehingga *daughter card* tidak dapat secara langsung mempengaruhi operasi dari modul DSK. Penggunaan TI bertegangan rendah, hambatan toleran 5V, dan perangkat antarmuka CBT memungkinkan penggunaan baik perangkat +5 V maupun 3,3 V yang akan digunakan pada *daughter card*.

Selain terhambat, kebanyakan sinyal *daughter card* tidak diubah dalam modul. Namun, beberapa sinyal kontrol tertentu *daughter card* seperti DC_RESET dan DC_DET muncul dan dapat diakses melalui CPLD DC_REG register. DSK juga melipatgandakan McBSP0 dan McBSP1 pada penggunaan on-modul atau eksternal. Fungsi ini dikendalikan melalui CPLD MISC register.

2.4 Deskripsi Fisik

2.4.1 Layout Modul

C6713 DSK berukuran 8,75 x 4,5 inci (210 x 115 mm.) modul multi-layer yang didukung dengan tegangan external sebesar +5 volt. Gambar berikut merupakan layout dari C6713 DSK.



Gambar 2.6 *TMS*320c6713 DSK

2.4.2 Conectors Index

DSK *TMS*320C6713 memiliki banyak konektor yang menyediakan akses pengguna ke berbagai sinyal pada DSK.

Table 2.7 *TMS*320c6713 DSK connectors

Connector	# Pins	Function
J4	80	Memory
J3	80	Peripheral
J1	80	HPI
J301	3	Microphone
J303	3	Line In
J304	3	Line Out
J303	3	Headphone
J5	2	+5 Volt
J6 *	4	Optional Power Connector
J8	14	External JTAG
J201	5	USB Port
JP3	10	CPLD Programming
SW3	8	DSP Configuration Jumper

2.4.3 Expansion Connectors

DSK *TMS*320C6713 mendukung tiga konektor ekspansi yang mengikuti pedoman Texas Instruments interkoneksi. Pin keluaran (*Pin outs*) konektor ekspansi dijelaskan dalam tiga bagian.

Ketiga konektor ekspansi semuanya 80 pin dengan 0,050 x 0,050 inci konektor profil rendah dari Samtec atau AMP. Konektor seri SAMTEC SFM (surface mount) dirancang untuk interkoneksi kecepatan tinggi karena mereka memiliki delay propagasi yang rendah, kapasitansi, dan cross talk. Konektor ini menampilakan *foot print* kecil pada DSK. Masing-masing konektor termasuk sinyal power *multiple ground*, +5 V, dan 3,3 V sehingga doughter card dapat memperoleh kekuasaan langsung dari DSK. Konektor ekspansi perifer selanjutnya menyediakan +12 V dan -12V ke *daughter card*. Konektor mating yang direkomendasikan dengan nomor TFM-140-32-SD-LC, merupakan konektor *surface mount* yang menyediakan 0,465" ketinggian yang berpasangan.

Note : **I** untuk pin input
O untuk pin output
Z untuk pin impedansi tinggi

2.4.4 J4, Memory Expansion Connector

Table 2.8 J4, Konektor ekspansi memori

Pin	Signal	I/O	Description	Pin	Signal	I/O	Description
1	5V	Vcc	5V voltage supply pin	2	-12V	Vcc	5V voltage supply pi
3	AEA21	0	EMIF address pin 21	4	GND	0	EMIF address pin 20
5	AEA19	0	EMIF address pin 19	6	5V	0	EMIF address pin 18
7	AEA17	0	EMIF address pin 17	8	GND	0	EMIF address pin 16
9	AEA15	0	EMIF address pin 15	10	5V	0	EMIF address pin 14
11	GND	Vss	System ground	12	N/C	Vss	System ground
13	AEA13	0	EMIF address pin 13	14	N/C	0	EMIF address pin 12
15	AEA11	0	EMIF address pin 11	16	N/C	0	EMIF address pin 10
17	AEA9	0	EMIF address pin 9	18	N/C	0	EMIF address pin 8
19	AEA7	0	EMIF address pin 7	20	3.3V	0	EMIF address pin 6

21	5V	Vcc	5V voltage supply pin	22	CLKS0	Vcc	5V voltage supply pin
23	AEA5	0	EMIF address pin 5	24	DX0	0	EMIF address pin 4
25	AEA3	0	EMIF address pin 3	26	GND	0	EMIF address pin 2
27	ABE3#	0	EMIF byte enable 3	28	N/C	0	EMIF byte enable 2
29	ABE1#	0	EMIF byte enable 1	30	DR0	0	EMIF byte enable 0
31	GND	Vss	System ground	32	GND	Vss	System ground
33	AED31	I/O	EMIF data pin 31	34	CLKS1	I/O	EMIF data pin 30
35	AED29	I/O	EMIF data pin 29	36	DX1	I/O	EMIF data pin 28
37	AED27	I/O	EMIF data pin 27	38	GND	I/O	EMIF data pin 2
39	AED25	I/O	EMIF data pin 25	40	N/C	I/O	EMIF data pin 24
41	3.3V	vcc	3.3V voltage supply pin	42	DR1	Vcc	3.3V voltage supply pin
43	AED23	I/O	EMIF data pin 23	44	GND	I/O	EMIF data pin 22
45	AED21	I/O	EMIF data pin 21	46	TINP0	I/O	EMIF data pin 20
47	AED19	I/O	EMIF data pin 19	48	EXT_INT5	I/O	EMIF data pin 18
49	AED17	I/O	EMIF data pin 17	50	TINP1	I/O	EMIF data pin 16
51	GND	VSS	System ground	52	GND	Vss	System ground
53	AED15	I/O	EMIF data pin 15	54	N/C	I/O	EMIF data pin 14
55	AED13	I/O	EMIF data pin 1358	56	N/C	I/O	EMIF data pin 12
57	AED11	I/O	EMIF data pin 11	59	N/C	I/O	EMIF data pin 10
59	AED9	I/O	EMIF data pin 9	60	N/C	I/O	EMIF data pin 8
61	GND	Vss	System ground	62	GND	Vss	System ground
63	AED7	I/O	EMIF data pin 7	64	CNTL0	I/O	EMIF data pin 6
65	AED5	I/O	EMIF data pin 5	66	STAT0	I/O	EMIF data pin 4
67	AED3	I/O	EMIF data pin 3	68	EXT_INT7	I/O	EMIF data pin 2
69	AED1	I/O	EMIF data pin 1	70	N/C	I/O	EMIF data pin 0
71	GND	Vss	System ground	72	N/C	Vss	System ground
73	AARE#	0	EMIF async read enable	74	N/C	o	EMIF async write enable
75	AAOE#	0	EMIF async output enable	76	GND	I	EMIF asynchronous ready
77	ACE3#	0	Chip enable 3	78	ECLKOUT	0	Chip enable 2
79	GND	Vss	System ground	80	GND	Vss	System ground

2.4.4.1 J3, Peripheral Expansion Connector

Tabel 2.9 j3, Konektor Ekspansi Perifer

Pin	Signal	I/O	Description	Pin	Signal	I/O	Description
1	12V	Vcc	12V voltage supply pin	2	-12V	Vcc	-12V voltage supply pin
3	GND	Vss	System ground	4	GND	Vss	System ground
5	5V	Vcc	5V voltage supply pin	6	5V	Vcc	5V voltage supply pin
7	GND	Vss	System ground	8	GND	Vss	System ground
9	5V	Vcc	5V voltage supply pin	10	5V	Vcc	5V voltage supply pin
11	N/C	-	No connect	12	N/C	-	No connect
13	N/C	-	No connect	14	N/C	-	No connect
15	N/C	-	No connect	16	N/C	-	No connect
17	N/C	-	No connect	18	N/C	-	No connect
19	3.3V	Vcc	3.3V voltage supply pin	20	3.3V	Vcc	3.3V voltage supply pin
21	CLKX 0	I/O	McBSP0 transmit *clock*	22	CLKS 0	I	McBSP0 *clock* source
23	FSX0	I/O	McBSP0 transmit frame sync	24	DX0	0	McBSP0 transmit data
25	GND	Vss	System ground	26	GND	Vss	System ground
27	CLKR	I/O	McBSP0 receive *clock*	28	N/C	-	No connect
29	FSR0	I/O	McBSP0 receive frame sync	30	DR0	I	McBSP0 receive data
31	GND	Vss	System ground	32	GND	Vss	System ground
33	CLKX 1	I/O	McBSP1 transmit *clock*	34	CLKS 1	I	McBSP1 *clock* sourc
35	FSX1	I/O	McBSP1 transmit frame sync	36	DX1	0	McBSP1 transmit data
37	GND	Vss	System ground	38	GND	Vss	System ground
39	CLKR 1	I/O	McBSP1 receive *clock*	40	N/C	-	No connect
41	FSR1	I/O	McBSP1 receive frame sync	42	DR1	I	McBSP1 receive data
43	GND	Vss	System ground	44	GND	Vss	System ground
45	TOUT 0	0	Timer 0 output	46	TINP0	I	Timer 0 input
47	N/C	-	No connect	48	EXT_	I	External interrupt 5

					INT5		
49	TOUT 1	0	Timer 1 output	50	TINP1	I	Timer 1 input
51	GND	Vss	System ground	52	GND	Vss	System ground
53	EXT_I NT4	I	External interrupt 4	54	N/C	-	No connect
55	N/C	-	No connect	56	N/C	-	No connect
57	N/C	-	No connect	59	N/C	-	No connect
59	RESE T	0	System reset	60	N/C	-	No connect
61	GND	Vss	System ground	62	GND	Vss	System ground
63	CNTL	0	Daughtercard control	64	CNTL 0	0	Daughtercard control
65	STAT 1	I	Daughtercard status 1	66	STAT 0	I	Daughtercard status
67	EXT_I NT6	I	External interrupt 6	68	EXT_ INT7	I	External interrupt 7
69	ACE3 #	0	Chip enable 3	70	N/C	-	No connect
71	N/C	-	No connect	72	N/C	-	No connect
73	N/C	-	No connect	74	N/C	-	No connect
75	DC_D ET#	Vss	System ground	76	GND	Vss	System ground
77	GND	Vss	System ground	78	ECL KOU T	0	EMIF *Clock*
79	GND	Vss	System ground	80	GND	Vss	System ground

Tabel 2.9 j1,Konektor ekspansi HPI

Pin	Signal	I/O	Description	Pin	Signal	I/O	Description
1	N/C	-	No connect	2	N/C	-	No connect
3	GND	Vss	System ground	4	HPI_RESETn	I	HPI reset input
5	CLKOUT3	0	*Clock* output3	6	N/C	-	No connect
7	GND	Vss	System ground	8	GND	Vss	System ground
9	HD1/AXR1[7	I/O	HPI data 1	10	N/C	-	No connect

11	HD3/AMUTE1	I/O	HPI data 3	12	HD0/AXR1[4]	I/O	HPI data 0
13	HD5/AHCLKX1	I/O	HPI data 5	14	HD2/AFSX1	I/O	HPI data 2
15	HD7/GP0[3]	I/O	HPI data 7	16	HD4/GP0[0]	I/O	HPI data 4
17	GND	Vss	System ground	18	HD6/AHCLKR1	I/O	HPI data 6
19	HD8/GP0[8]	I/O	HPI data 8	20	GND	Vss	System ground
21	HD10/GP0[10]	I/O	HPI data 10	22	HD9/GP0[9]	I/O	HPI data 9
23	HD12/GP0[12	I/O	HPI data 12	24	HD11/GP0[11	I/O	HPI data 11
25	HD14/GP0[14]	I/O	HPI data 14	26	HD13/GP0[13]	I/O	HPI data 13
27	GND	Vss	System ground	28	HD15/GP0[15]	I/O	HPI data 15
29	HDS2z/AXR1[5]	I/O	Host data strobe 2	30	GND	Vss	System ground
31	GND	Vss	System ground	32	HASz/ACLKX	I/O	Host address strobe
33	HDS1z/AXR1[6	I/O	Host data strobe 1	34	GND	Vss	System ground
35	GND	Vss	System ground	36	HCNTL0/AXR1[3	I/O	Host control 1
37	HCSz/AXR1[2]	I/O	Host chip select	38	GND	Vss	System ground
39	GND	Vss	System ground	40	HHWIL/AFSR1	I/O	Host half-word select
41	HCNTL1/AXR1[1]	I/O	Host control 1	42	GND	Vss	System ground
43	GND	Vss	System ground	44	HINTz/GP0[1]	I/O	Host interrupt
45	HRDYZ/ACLKR1	I/O	Host Ready	46	GND	Vss	System ground
47	GND	Vss	System ground	48	N/C	-	No connect
49	HR/Wz/AXR1[0]	I/O	Host R/W strobe	50	N/C	-	No connect
51	N/C	-	No connect	52	N/C	-	No connect
53	N/C	-	No connect	54	N/C	-	No connect
55	N/C	-	No connect	56	GND	Vss	System ground
57	N/C	-	No connect	59	N/C	-	No connect
59	N/C	-	No connect	60	N/C	-	No connect
61	GND	Vss	System ground	62	N/C	-	No connect
63	N/C	-	No connect	64	N/C	-	No connect
65	N/C	-	No connect	66	N/C	-	No connect

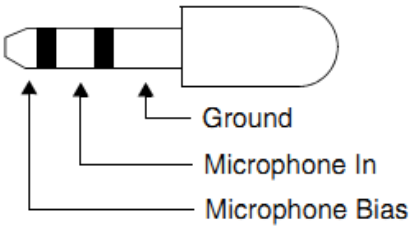
67	N/C	-	No connect	68	SCL0	I/O	I2C0 *Clock*
69	N/C	-	No connect	70	GND	Vss	System ground
71	GND	Vss	System ground	72	SDA0	I/O	I2C0 Data
73	N/C	-	No connect	74	GND	Vss	System ground
75	GND	Vss	System ground	76	N/C	-	No connect
77	N/C	-	No connect	78	GND	Vss	System ground
79	GND	Vss	System ground	80	CLKOUT2/GP0[2	0	GP I/O 0 bit 2

2.4.5 Konektor Audio

DSK C6713 memiliki 4 konektor audio yang akan dijelaskan di bawah ini.

2.4.5.1 J301, Konektor Mikrofon

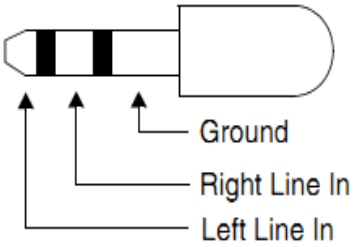
Masukannya adalah 3,5 mm, jack stereo. Kedua input dihubungkan ke mikrofon sehingga menjadi *monoaural*. Sinyal pada steker ditampilkan pada gambar di bawah.



Gambar 2.7 Microphone stereo jack

2.4.5.2 J303, Konektor Audio Line In

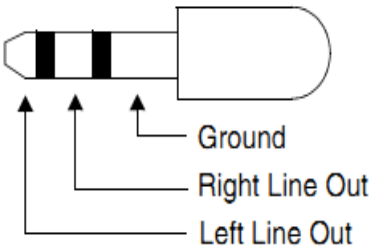
Audio Line In adalah inputan stereo. Konektor input berupa jack stereo 3,5 mm. Sinyal pada steker mating ditampilkan pada gambar di bawah.



Gambar 2.8 Audio line in stereo jack

2.4.5.3 J304, Konektor Audio Line Out

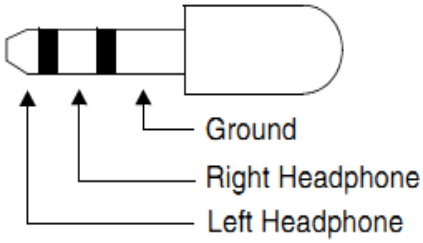
Audio line out adalah output stereo. Konektor output berupa jack stereo 3,5 mm. Sinyal pada steker mating ditampilkan pada gambar di bawah.



Gambar 2.9 Audio line out stereo jack

2.4.5.4 J303, Konektor Headphone

Konektor J4 adalah *jack headphone*/speaker yang dapat mengendalikan headphone standar atau speaker impedansi tinggi secara langsung. Jack 3,5 mm standar ditunjukkan pada gambar di bawah.



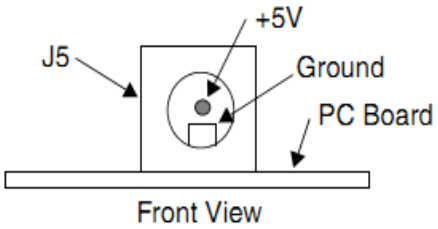
Gambar 2.10 Headphone jack

2.4.6 Konektor Power

DSK C6713 memiliki 2 konektor power yang dapat digambarkan sebagai berikut.

2.4.6.1 J5, Konektor +5 Volt

Tegangan (+5 volt) dibawa menuju DSK *TMS*320C6713 melalui konektor J5. Konektor ini memiliki diameter luar 5,5 mm dan diameter dalam 2,5 mm. Diagram A dari J5 ditampilkan di bawah ini.



Gambar 2.11 Konektor Power DSK *TMS*320c6713

2.4.6.2 J6, Konektor Power Opsional

Konektor J6 adalah konektor power opsional. Ini akan beroperasi dengan power supply komputer standar pribadi. Untuk mengisi konektor ini gunakan Molex # 15-24-4041. Tabel di bawah ini menunjukkan tegangan pada masing-masing pin.

Tabel 2.10 Optional Power Connector

Pin #	Voltage Level
1	+12 v
2	-12 v
3	Ground
4	+5 v

2.4.7 Macam-macam Konektor

DSK C6713 memiliki 3 konektor tambahan untuk membantu pengguna dalam mengembangkan produk ini. Mereka digambarkan dalam bagian berikut.

2.4.7.1 J201, Konektor USB

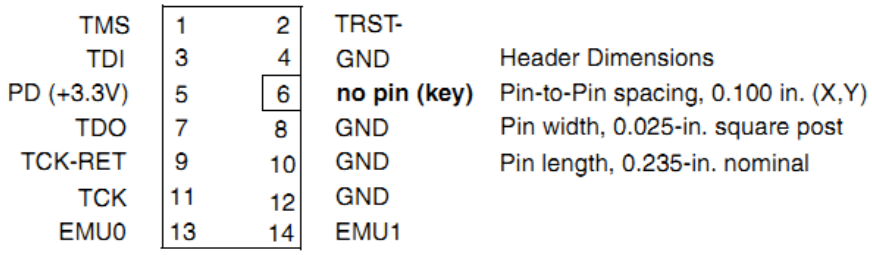
Konektor J201 menyediakan Universal Serial Bus (USB) antarmuka ke logika emulasi JTAG pada DSK. Hal ini memungkinkan untuk pengembangan kode dan debug penggunaan emulator eksternal. Sinyal pada konektor ini ditampilkan sebagai berikut.

Tabel 2.11 J201, Konektor USB

Pin #	USB Signal Name
1	USB Vdd
2	D+
3	D-
4	USB Vss
5	Shield
6	Shield

2.4.7.2 J8, Konektor JTAG Eksternal

DSK *TMS*320C6713 ini dilengkapi dengan antarmuka 14 pin header, J8. Ini adalah antarmuka standar yang digunakan oleh emulator JTAG untuk antarmuka dengan DSPs Texas Instruments. Pinout untuk konektor ditunjukkan pada gambar di bawah.



Gambar 2.12 J8 *JTAG Interface*

2.4.7.3 JP3, Konektor Programming PLD

Konektor ini antarmuka ke CPLD altera, U12. Hal ini digunakan di dalam pabrik untuk pemrograman CPLD tersebut. Konektor ini tidak dimaksudkan untuk penggunaan di luar pabrik.

2.4.8 Sistem LED

DSK *TMS*320C6713 memiliki empat sistem Light Emitting Diode (LED). LED ini mengindikasikan berbagai kondisi pada DSK. Fungsi dari setiap LED ditunjukkan dalam tabel di bawah.

Tabel 2.12 Sistem LED

Penanda referensi	Warna	Fungsi	Kondisi menyala
D4	Hijau	MEnggunakan Emulasi USB. Ketika Emulator JTAG External digunakan LED mati (off).	1
D3	Hijau	Menghasilkan +5 v	1
D6	Orange	RESET Aktif	1
DS201	Hijau	USB Aktif, Berkedip ketika data USB terkirim	1

2.4.9 Reset Switch

Ada tiga reset pada DSK *TMS*320C6713. Reset yang pertama adalah *power on reset*. Lintasan ini menunggu sampai daya berada dalam kisaran tertentu sebelum melepaskan daya pada pin *reset* ke *TMS*320C6713 tersebut.

Sumber eksternal yang mengendalikan *reset* tombol push SW2, dan on-modul tertanam pada emulator JTAG USB.

2.5 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan komponen elektronika yang didalamnya terdapat rangkaian mikroprosesor, memori (RAM/ROM) dan I/O. Rangkaian tersebut terdapat dalam level chip atau biasa disebut *single chip* mikrokomputer. Pada mikrokontroler sudah terdapat komponen – komponen mikroprosesor dengan sistem bus internal yang saling berhubungan. Komponen – komponen tersebut adalah RAM, ROM, timer/counter, komponen I/O paralel dan serial serta *interrupt* kontroler.

Perbedaan mendasar antara mikrokontroler dengan mikroprosesor adalah mikrokontroler selain memiliki *Central Processing Unit* (CPU) juga dilengkapi dengan memori ROM dan RAM *internal* dan perangkat *input–output* yang merupakan kelengkapan sebagai sistem minimum mikrokomputer sehingga sebuah mikrokontroler dapat dikatakan sebagai mikrokomputer dalam keping tunggal (*Single Chip Microcomputer*) yang dapat berdiri sendiri. (Putra, 2002)

2.5.1 Mikrokontroler ATmega8535

Perkembangan teknologi telah mendorong dengan pesat kemajuan perkembangan dunia elektronika khususnya dunia mikroelektronika. Dengan adanya penemuan silikon maka bidang ini telah memberikan sumbangan yang amat berharga bagi perkembangan teknologi modern. Atmel sebagai salah satu vendor yang mengembangkan dan memasarkan produk mikroelektronika telah menjadi suatu teknologi standar bagi para desainer sistem elektronika masa sekarang. Dengan perkembangan terakhir yaitu generasi AVR *(Alf and Vegard's Risc processor)* maka para desainer sistem elektronika telah diberikan suatu teknologi yang memiliki kapabilitas yang amat maju namun dengan biaya ekonomis yang cukup minimal.

Mikrokontroler AVR memiliki arsitektur RISC 8 bit di mana semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit (16-bits word) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 (satu) siklus clock. Dibandingkan dengan instruksi ASM51 yang membutuhkan 12 siklus clock. Tentu saja ini terjadi karena kedua jenis mikrokontroler tersebut memiliki arsitektur yang berbeda, yang satu RISC sedangkan yang lain CISC. Secara umum, AVR dapat dikelompokkan menjadi 4 kelas, yaitu keluarga ATtiny, keluarga AT90Sxx, keluarga ATmega, dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, peripheral, dan fungsinya. Dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan, mereka hampir sama. Salah satu Mikrokontroller AVR produk Atmel yaitu ATmega8535. Mokrokontroller ATmega8535 mudah didapatkan, murah dan juga mempunyai fasilitas yang lengkap.

2.5.2 Arsitektur AVR ATmega8535

AVR merupakan seri mikrokontroller CMOS 8-bit buatan Atmel, berbasis arsitektur *RISC (Reduced Instruction Set Computer).* Hampir semua instruksi dieksekusi dalam satu siklus clock. AVR mempunyai 32 register general-purpose, timer/counter fleksibel dengan mode compare, interupt internal dan eksternal, serial *UART*, programmable Watchdog Timer, dan mode power saving. Beberapa diantaranya mempunyai ADC dan PWM internal. AVR juga

mempunyai In-System Programmable Flash on-chip yang mengijinkan memori program untuk diprogram ulang dalam sistem menggunakan hubungan serial SPI. Chip AVR yang digunakan untuk tugas akhir ini adalah ATmega8535.

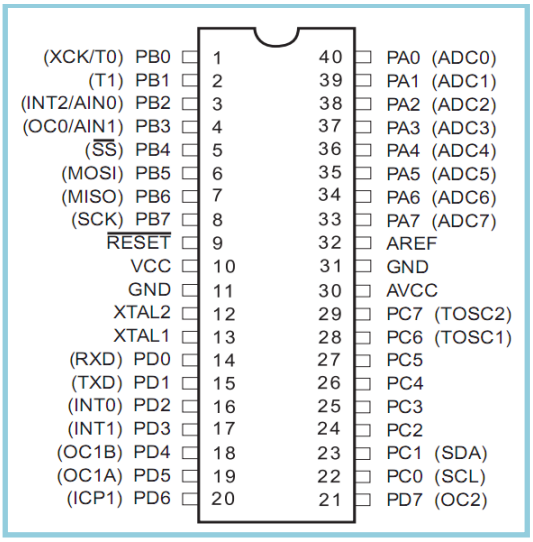
ATmega8535 adalah mikrokontroller CMOS 8-bit daya-rendah berbasis arsitektur RISC yang ditingkatkan. Kebanyakan instruksi dikerjakan pada satu siklus clock, ATmega8535 mempunyai *throughput* mendekati 1 MIPS per MHz membuat disainer sistem untuk mengoptimasi komsumsi daya versus kecepatan proses.

Mikrokontroller ATmega8535 memiliki sejumlah spesifikasi data teknis sebagai berikut :

1. Saluran IO sebanyak 32 buah, yaitu Port A, Port B, Port C dan Port D
2. ADC 10 bit sebanyak 8 Channel
3. Tiga buah timer / counter
4. 32 register
5. Watchdog Timer dengan oscilator internal
6. SRAM sebanyak 512 byte
7. Memori Flash sebesar 8 kb
8. Sumber Interrupt internal dan eksternal
9. Port SPI (Serial Pheriperal Interface)
10. EEPROM on board sebanyak 512 byte
11. Komparator analog
12. Port USART (Universal Shynchronous Ashynchronous Receiver Transmitter)

2.5.3 Konfigurasi Pin ATmega8535

Konfigurasi Pin Mikrokontroller ATmega8535 dengan kemasan 40-pin DIP (dual in-line package) dapat dilihat pada Gambar 2.13 berikut.



Gambar 2.13 Konfigurasi Pin Mikrokontroller ATmega8535

2.5.4 Deskripsi Mikrokontroller ATmega8535

1. VCC *(power supply)*
2. GND *(ground)*
3. Port A (PA7..PA0)

   Port A berfungsi sebagai *input* analog pada A/D Konverter. Port A juga berfungsi sebagai suatu Port I/O 8-bit dua arah, jika A/D Konverter tidak digunakan. Pin - pin Port dapat menyediakan resistor *internal pull-up* (yang dipilih untuk masing-masing bit). Port A *output buffer* mempunyai karakteristik gerakan simetris dengan keduanya *sink* tinggi dan kemampuan sumber. Ketika pin PA0 ke PA7 digunakan sebagai *input* dan secara *eksternal* ditarik rendah, pin–pin akan memungkinkan arus sumber jika resistor *internal pull-up* diaktifkan. Pin Port A adalah *tri-stated* manakala suatu kondisi reset menjadi aktif, sekalipun waktu habis.
4. Port B (PB7..PB0)

   Port B adalah suatu Port I/O 8-bit dua arah dengan resistor internal pull-up (yang dipilih untuk beberapa bit). Port B *output buffer* mempunyai

karakteristik gerakan simetris dengan keduanya *sink* tinggi dan kemampuan sumber. Sebagai input, pin port B yang secara *eksternal* ditarik rendah akan arus sumber jika resistor *pull-up* diaktifkan. Pin Port B adalah *tri-stated* manakala suatu kondisi reset menjadi aktif, sekalipun waktu habis.

5. Port C (PC7..PC0)

   Port C adalah suatu Port I/O 8-bit dua arah dengan resistor internal pull-up (yang dipilih untuk beberapa bit). Port C *output buffer* mempunyai karakteristik gerakan simetris dengan keduanya *sink* tinggi dan kemampuan sumber. Sebagai input, pin port C yang secara *eksternal* ditarik rendah akan arus sumber jika resistor *pull-up* diaktifkan. Pin Port C adalah *tri-stated* manakala suatu kondisi reset menjadi aktif, sekalipun waktu habis.

6. Port D (PD7..PD0)

   Port D adalah suatu Port I/O 8-bit dua arah dengan resistor internal pull-up (yang dipilih untuk beberapa bit). Port D *output buffer* mempunyai karakteristik gerakan simetris dengan keduanya *sink* tinggi dan kemampuan sumber. Sebagai input, pin port D yang secara *eksternal* ditarik rendah akan arus sumber jika resistor *pull-up* diaktifkan. Pin Port D adalah *tri-stated* manakala suatu kondisi reset menjadi aktif, sekalipun waktu habis.

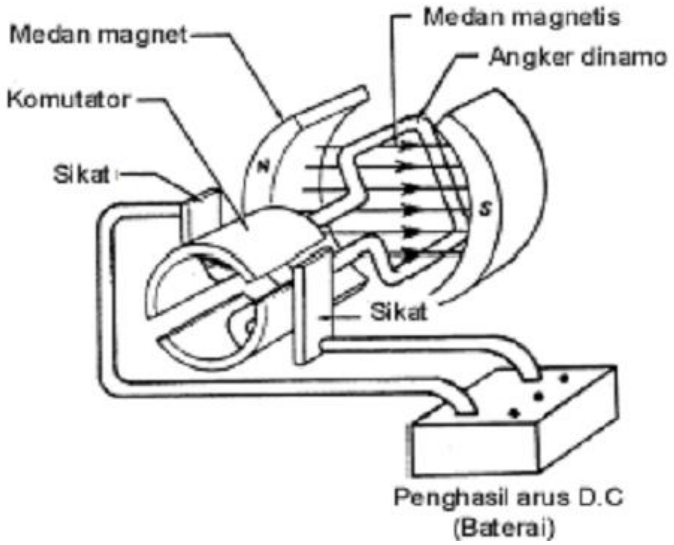
7. RESET *(Reset input)*
8. XTAL1 *(Input Oscillator)*
9. XTAL1 *(Output Oscillator)*
10. AVCC adalah pin penyedia tegangan untuk port A dan A/D Konverter
11. AREF adalah pin referensi analog untuk A/D konverter.

2.6 Motor DC

Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya memutar *impeller* pompa, fan atau *blower*, menggerakan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (mixer, bor listrik, fan angin) dan di industri. Motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja” nya industri sebab

diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri.

Motor DC memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. 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. Prinsip kerja dari arus searah adalah membalik phasa tegangan dari gelombang yang mempunyai nilai positif dengan menggunakan komutator dengan demikian arus yang berbalik arah dengan kumparan jangkar yang berputar dalam medan magnet. Bentuk motor paling sederhana memiliki kumparan satu lilitan yang bisa berputar bebas di antara kutub-kutub magnet permanen.



Gambar 2.14 Motor DC sederhana

Motor arus searah, sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung yang tidak langsung/*direct-unidirectional*. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalaan torque yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.

Gambar 2.14 memperlihatkan sebuah motor DC yang memiliki tiga komponen utama:

- Kutub medan, secara sederhana digambarkan bahwa interaksi dua kutub magnet akan menyebabkan perputaran pada motor DC. Motor DC memiliki kutub medan yang stasioner dan dinamo yang menggerakan bearing pada ruang diantara kutub medan. Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan: kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetik energi membesar melintasi bukaan diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Untuk motor yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet. Elektromagnet menerima listrik dari sumber daya dari luar sebagai penyedia struktur medan.
- Dinamo, bila arus masuk menuju dinamo, maka arus ini akan menjadi elektromagnet. Dinamo yang berbentuk silinder dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakan beban. Untuk kasus motor DC yang kecil, dinamo berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub sampai kutub utara dan selatan magnet berganti lokasi. Jika hal ini terjadi, arusnya berbalik untuk merubah kutub-kutub utara dan selatan dinamo.
- *Commutator*, komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya adalah untuk membalikan arah arus listrik dalam dinamo. *Commutator* juga membantu dalam transmisi arus antara dinamo dan sumber daya.

Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor secara umum sama :

- Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya
- 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.
- Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/ *torque* untuk memutar kumparan.
- 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.

Berdasarkan sumber arus penguatan magnet, motor DC dapat di bedakan :

a) Motor DC penguatan terpisah, bila arus penguatan magnet diperoleh dari sumber Dc diluar motor. Motor DC penguat terpisah memiliki kumpran jangkar dan medan yang dicatu dari sumber yang berbeda. Pengaturan kecepatan dilakukan melalui pengaturan tegangan pada kumparan jangkar.
b) Motor DC penguatan sendiri, bila arus penguatan magnet berasal dari motor itu sendiri.

Dalam memahami sebuah motor, penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor. Beban mengacu kepada keluaran tenaga putar/ *torque* sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban umumnya dapat dikategorikan kedalam tiga kelompok (BEE India, 2004) :

- Beban *torque* konstan adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya namun *torque* nya tidak bervariasi. Contoh beban dengan torque konstan adalah *conveyors*, *rotary kilns*, dan pompa *displacement* konstan.
- Beban dengan *variabel torque* adalah beban dengan *torque* yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan variabel *torque* adalah pompa *sentrifugal* dan fan (*torque* bervariasi sebagai kwadrat kecepatan).
- Beban dengan energi konstan adalah beban dengan permintaan *torque* yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.

2.7 Rodagigi

Rodagigi digunakan untuk mentransmisikan daya besar dan putaran yang tepat. Rodagigi memiliki gigi di sekelilingnya, sehingga penerusan daya dilakukan oleh gigi-gigi kedua roda yang saling berkait.Rodagigi sering digunakan karena dapat meneruskan putaran dan daya yang lebih bervariasi dan lebih kompak daripada menggunakan alat transmisi yang lainnya, selain itu rodagigi juga memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan alat transmisi lainnya, yaitu :

- Sistem transmisinya lebih ringkas, putaran lebih tinggi dan daya yang besar.
- Sistem yang kompak sehingga konstruksinya sederhana.
- Kemampuan menerima beban lebih tinggi.
- Efisiensi pemindahan dayanya tinggi karena faktor terjadinya slip sangat kecil.
- Kecepatan transmisi rodagigi dapat ditentukan sehingga dapat digunakan dengan pengukuran yang kecil dan daya yang besar.

Rodagigi harus mempunyai perbandingan kecepatan sudut tetap antara dua poros. Di samping itu terdapat pula rodagigi yang perbandingan kecepatan sudutnya dapat bervariasi. Ada pula rodagigi dengan putaran yang terputus-putus. Dalam teori, rodagigi pada umumnya dianggap sebagai benda kaku yang hampir tidak mengalami perubahan bentuk dalam jangka waktu lama.

bila putaran kurang dari 3600 Rpm, maka berlaku persamaan :

$$r_v = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{N_{t1}}{N_{t2}} = \frac{d_1}{d_2} \qquad \text{…….(2.10)}$$

dimana :

r_v = perbandingan kecepatan

ω_2 = kecepatan sudut (rad/sec)

n = kecepatan keliling (rpm)

Nt = jumlah gigi

d = diameter pitch circle (in)

2.8 Pengertian Sensor

Sensor dan transduser merupakan peralatan atau komponen yang mempunyai peranan penting dalam sebuah sistem pengaturan otomatis. Ketepatan dan kesesuaian dalam memilih sebuah sensor akan sangat menentukan kinerja dari sistem pengaturan secara otomatis.

Besaran masukan pada kebanyakan sistem kendali adalah bukan besaran listrik, seperti besaran fisika, kimia, mekanis dan sebagainya. Untuk memakaikan besaran listrik pada sistem pengukuran, atau sistem manipulasi atau sistem pengontrolan, maka biasanya besaran yang bukan listrik diubah terlebih dahulu menjadi suatu sinyal listrik melalui sebuah alat yang disebut *transducer*.

Sebelum lebih jauh kita mempelajari sensor dan transduser ada sebuah alat lagi yang selalu melengkapi dan mengiringi keberadaan sensor dan transduser dalam sebuah sistem pengukuran, atau sistem manipulasi, maupun sistem pengontrolan yaitu yang disebut alat ukur.

- **Klasifikasi Sensor**

Secara umum berdasarkan fungsi dan penggunaannya sensor dapat dikelompokan menjadi 3 bagian yaitu:

a. sensor thermal (panas)
b. sensor mekanis
c. sensor optik (cahaya)

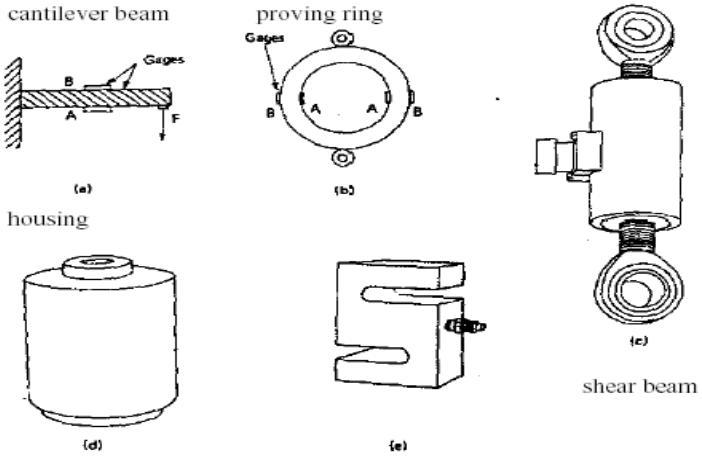
2.8.1 Pengertian Sensor Berat

Sensor berat adalah suatu alat yang dapat mendeteksi berat dan kemudian diubah menjadi sinyal-sinyal listrik. Sensor berat ini termasuk bagian dari sensor mekanis.

Adapun jenis-jenis dari sensor berat sebagai berikut:

- *Load cell*, komponen sensor berat yang digunakan dalam skala, menimbang industri, tank berat, konveyor berat, kontrol mesin.
  - cara kerja mirip dengan sensor tekanan yaitu mengubah gaya menjadi perpindahan
  - menggunakan rangkaian jembatan untuk pembacaan, kalibrasi dan kompensasi temperatur
  - alternatif lain menggunakan kristal piezoelektrik untuk mengukur perubahan gaya.

- konfigurasi load cell



Gambar 2.15 Beberapa Contoh Konfigurasi Load Cell

Macam macam jenis load cell adalah:

Load Cell jenis berdasarkan prinsip kerja

- Balok kantilever atau tekukan
- Kompresi
- Tarik
- Universal
- Geser
- Momen
- Berongga

Load Cell berdasarkan jenis konstruksi

- Bending balok
- Paralel balok atau Teropong Beam
- Kaleng kecil
- Geser balok
- Single kolom
- Multi-kolom
- Serabi
- Tombol Load

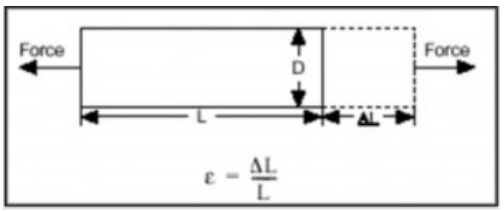
- Single geser balok berakhir
- Double berakhir balok geser
- "S" tipe
- Batang Inline akhir
- Digital elektro Angkatan
- Diafragma / membran
- Torsi cincin
- Bending cincin
- Membuktikan cincin
- Load Pin

Load Cell jenis berdasarkan sifat listrik

- Resistif
- Piezoelektrik
- Kapasitansi
- Analog
- Digital
- Wireless

2.8.2 Strain Gauge

Strain adalah jumlah deformasi dari suatu bagian dalam kaitannya dengan gaya. Secara rinci strain (e) digambarakn sebagai perubahan panjang, seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar.2.16 Pengertian Strain

"Strain Gauge" pertama kali ditemukan oleh Edward E. Simmons pada 1983 dalam bentuk foil logam yang bersifat insulif (isolasi) yang menempel pada benda yang akan diukur tekanan beratnya. Secara prinsip apabila strain gauge diberi tekanan maka tahanan listrik *strain gauge* akan berubah karena proses deformasi

pada strain gauge dengan besarnya perubahan tahanan listrik tersebut akan mengikuti besarnya perubahan tekanan yang diterima strain gauge.

Elastisitas strain gauge merupakan perbandingan perubahan panjang terhadap panjang mula – mula :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \qquad \text{…..…….....(2.11)}$$

Parameter dasar dari strain gauge sensitivitas terhadap strain (tegangan), yang dinyatakan besaranya sebagai faktor gauge. Faktor gauge merupakan perbandingan fraksi perubahan resistansi (ΔR) terhadap fraksi perubahan panjang (strain).

Dalam prakteknya, orde pengukuran strain tidak lebih dari milistrain (e x 10^{-3}), oleh karena itu pengukuran ketegangan memerlukan pengukuran yang sangat akurat dari perubahan yang sangat kecil dari resistansinya.

- **Prinsip Kerja *Strain Gauge***

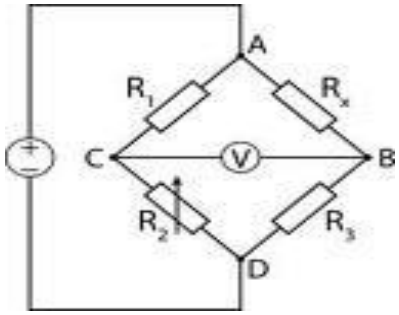
Ketika terjadi regangan pada suatu benda uji (specimen) yang telah di pasangi *strain gauge*, maka regangan itu terhantarkan melalui alas *gauge* (isolatif) pada foil atau penghantar resistif di dalam *gauge* tersebut. Hasilnya adalah foil atau penghantar halus tadi akan mengalami perubahan nilai resistansinya. Perubahan resistansi ini berbanding lurus terhadap besarnya regangan.

Bentuknya yang sederhana dengan massa / berat yang dapat diabaikan dan ukurannya yang kecil, sehingga tidak menimbulkan *interferensi* (gangguan pengaruh luar) pada tegangan dalam *specimen*. Dapat digunakan untuk melokalisir bagian evaluasi pengukuran karena jarak titik ukur yang pendek. Memiliki kepekaan yang tinggi terhadap frekuensi sehingga dapat digunakan untuk menelusuri rambatan fluktuasi tegangan. Memungkinkan melakukan pengukuran di sejumlah titik secara bersamaan dan pengukuran jarak jauh. Dengan output berupa sinyal elektrik, memudahkan pengolahan data (*data-processing*).

Namun demikian, di samping sejumlah keunggulan yang ditawarkan tadi, *strain gauge* juga memiliki beberapa keterbatasan. Setiap *Strain gauge* memiliki

keterbatasan dalam hal suhu, *fatigue* (kelelahan), batas kemampuan regangan, dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan pengukuran.

Nilai perubahan tahanan pada strain gauge yang mengalami perubahan tekanan tidak signifikan, sehingga untuk dapat memberikan perubahan nilai elektrik maka perubahan tahanan pada strain gauge ini dimasukan ke dalam rangkaian jembatan wheatstone seperti gambar berikut.



Gambar 2.17 Rangkaian jembatan wheatstone

2.8.3 Light Dependent Resistor (LDR)

Light-Dependent Resistor (LDR) adalah alat yang digunakan untuk mengubah besaran cahaya menjadi besaran listrik. Prinsip kerja dari alat ini adalah mengubah energi dari foton menjadi elektron. Idealnya satu foton dapat membangkitkan satu elektron.

Gambar 2.18 Light-dependent resistor (LDR)

Fotoresistor adalah komponen elektronika yang resistansinya akan menurun jika ada perubahan intensitas cahaya yang mengenainya. Fotoresistor dibuat dari

semikonduktor beresistansi tinggi. Jika cahaya/foton dengan frekuensi yang cukup tinggi diserap oleh semikonduktor menyebabkan elektron dengan energi yang cukup untuk meloncat kepita konduksi. Elektron bebas yang dihasilkan akan mengalirkan listrik, sehingga menurunkan resistansinya. Besar tahanan LDR/*fotoresistor* dalam kegelapan mencapai jutaan Ohm dan turun sampai beberapa ratus Ohm dalam keadaan terang. LDR dapat digunakan dalam suatu jaringan kerja pembagi potensial yang menyebabkan terjadinya perubahan tegangan kalau sinar yang datang berubah.

2.8.4 Rotary Encoder

Rotary encoder adalah divais elektromekanik yang dapat memonitor gerakan dan posisi. Rotary encoder umumnya menggunakan sensor optik untuk menghasilkan serial pulsa yang dapat diartikan menjadi gerakan, posisi, dan arah. Sehingga posisi sudut suatu poros benda berputar dapat diolah menjadi informasi berupa kode digital oleh rotary encoder untuk diteruskan oleh rangkaian kendali. Rotary encoder umumnya digunakan pada pengendalian robot, motor drive, dsb.

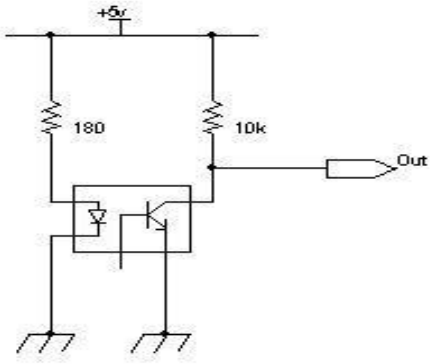
Rotary encoder tersusun dari suatu piringan tipis yang memiliki lubang-lubang pada bagian lingkaran piringan. LED ditempatkan pada salah satu sisi piringan sehingga cahaya akan menuju ke piringan. Di sisi yang lain suatu photo-transistor diletakkan sehingga photo-transistor ini dapat mendeteksi cahaya dari LED yang berseberangan. Piringan tipis tadi dikopel dengan poros motor, atau divais berputar lainnya yang ingin kita ketahui posisinya, sehingga ketika motor berputar piringan juga akan ikut berputar. Apabila posisi piringan mengakibatkan cahaya dari LED dapat mencapai photo-transistor melalui lubang-lubang yang ada, maka photo-transistor akan mengalami saturasi dan akan menghasilkan suatu pulsa gelombang persegi. Semakin banyak deretan pulsa yang dihasilkan pada satu putaran menentukan akurasi rotary encoder tersebut, akibatnya semakin banyak jumlah lubang yang dapat dibuat pada piringan menentukan akurasi rotary encoder tersebut.

Rangkaian penghasil pulsa yang digunakan umumnya memiliki output yang berubah dari +5V menjadi 0.5V ketika cahaya diblok oleh piringan dan ketika

diteruskan ke photo-transistor. Karena divais ini umumnya bekerja dekat dengan motor DC maka banyak noise yang timbul sehingga biasanya output akan dimasukkan ke low-pass filter dahulu. Apabila low-pass filter digunakan, frekuensi cut-off yang dipakai umumnya ditentukan oleh jumlah slot yang ada pada piringan dan seberapa cepat piringan tersebut berputar, dinyatakan dengan:

$$f_c = \frac{s_w}{60} \qquad \text{…….(2.12)}$$

Dimana f_c adalah frekuensi cut-off filter, s_w adalah kecepatan piringan dan n adalah jumlah slot pada piringan.



Gambar 2.19 Rangkaian tipikal penghasil pulsa pada rotary encoder

2.9 Metode Kontrol

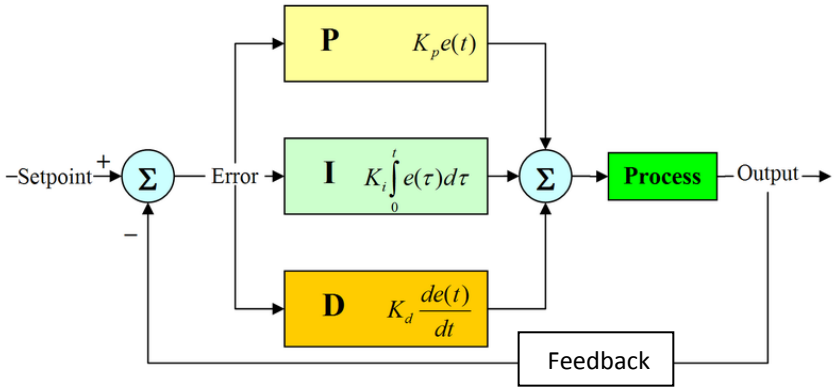
2.9.1 Metode Kontrol PID

Sistem kontrol PID adalah suatu pengendalian untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. PID merupakan singkatan dari Proportional Integral Derivatif. Sistem pengendali PID terdiri dari tiga jenis yang sesuai dengan singkatanya Proportional Integral dan Derivatif. Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi kontroler PID.

Penggunaan parameter kontrol PID (Proposional Integral Diferensial) selalu didasari atas tinjauan terhadap karakteristik yang diatur (Plant). Dengan demikian berapapun rumitnya suatu plant, prilaku plant tersebut harus diketahui terlebih dahulu sebelum penalaan parameter PID itu dilakukan, karena penyusunan model

matematik plant tidak mudah, maka dikembangkan suatu metode eksperimental. Metode ini didasarkan pada reaksi plant yang dikenai suatu perubahan.

Kontrol PID yang sering digunakan dan banyak diberikan dalam materi sistem kontrol di perguruan tinggi. Hal ini disebabkan karena sistem ini merupakan sistem kontrol loop tertutup yang cukup sederhana dan kompatibel dengan sistem kontrol lainnya sehingga dapat dikombinasikan dengan sistem kontrol lain seperti Fuzzy control, Adaptif control dan Robust control.



Gambar 2.20 Blok diagram dengan Kontrol PID loop tertutup

Dari blok diagram diatas dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. SP = Set Point, merupakan suatu prameter nilai acuan atau nilai yang kita inginkan.
2. PV = Present Value, merupakan nilai bobot pembacaan sensor saat itu atau variabel terukur yang diumpanbalikkan oleh sensor (sinyal feedback dari sensor).
3. Error = nilai kesalahan, yakni deviasi atau simpangan antar variabel terukur atau bobot sensor (PV) dengan nilai acuan (SP).

Error = PV-SP

Persamaan untuk kontroler PID paralel adalah sebagi berikut:

u(t) = K_p.e(t) + $\frac{1}{T}\int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt}$

menjadi:

U(s) = K_p.E(s) + $\frac{1}{T_i S} E(s) + T_d s\, E(s)$

Sistem kontrol PID terdiri dari tiga buah cara pengaturan yaitu kontrol P (Proportional), D (Derivative) dan I (Integral), dengan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam implementasinya masing-masing cara dapat bekerja sendiri maupun gabungan diantaranya. Dalam perancangan sistem kontrol PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter P, I atau D agar tanggapan sinyal keluaran sistem terhadap masukan tertentu sebagaimana yang diiginkan.

Tabel 2.13 Tanggapan sistem kontrol PID terhadap perubahan parameter

Tanggapan loop Tertutup	**Waktu naik**	**Over shoot**	**Waktu turun**	**Kesalahan keadaan tunak**
Proporsional (Kp)	Menurun	Meningkat	Perubahan Kecil	Menurun
Integral (Ki)	Menurun	Meningkat	Meningkat	Hilang
Derivative (Kd)	Perubahan Kecil	Menurun	Menurun	Perubahan Kecil

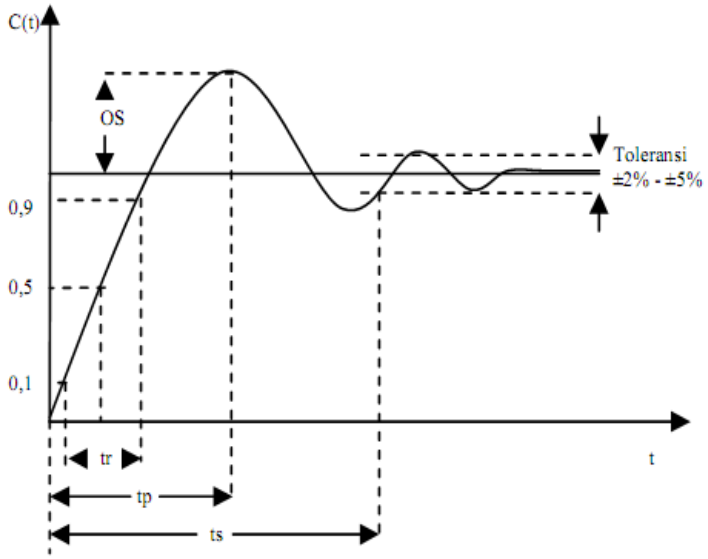
Pada tanggapan transien ini ada bebarapa parameter yang perlu diketahui, yaitu:

a. Waktu Tunda (Delay Time), adalah waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai seperuh dari harga akhirnya untuk pertama kali.
b. Waktu Naik (Rise Time), adalah waktu yang diperlukan sistem untuk naik dari 10% sampai 90% nilai akhir.
c. Waktu Puncak (Peak Time), waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai puncak pertama kali.
d. Persen Overshoot, perbandingan nilai puncak maksimum dengan nilai akhir yang dinyatakan dalam bentuk

$$\% \text{ OS} = \frac{C\ max - C\ akhir}{C\ akhir}\ 100\%$$

Overshoot ini hanya terjadi pada sistem yang kurang teredam ($\zeta < 1$).

e. Waktu Penetapan (Settling Time), adalah waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai ±2% dari nilai keadaan tunak (steady state), dan
f. Kesalahan Keadaan Tunak (Steady State Error), adalah perbedaan antara keluaran yang dicapai saat tunak dengan nilai yang diinginkan.

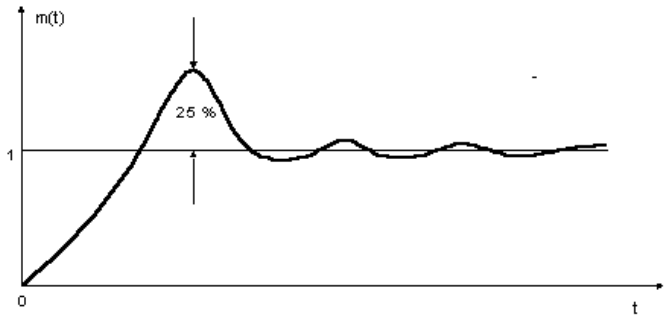


Gambar 2.21 Respon Fungsi Step Untuk System Orde Dua

Untuk merancang sistem kontrol PID, kebanyakan dilakukan dengan metoda coba-coba atau (trial & error). Hal ini disebabkan karena parameter Kp, Ki dan Kd tidak independent. Untuk mendapatkan aksi kontrol yang baik diperlukan langkah coba-coba dengan kombinasi antara P, I dan D sampai ditemukan nilai Kp, Ki dan Kd seperti yang diiginkan.

2.9.2 Metode Ziegler – Nichols

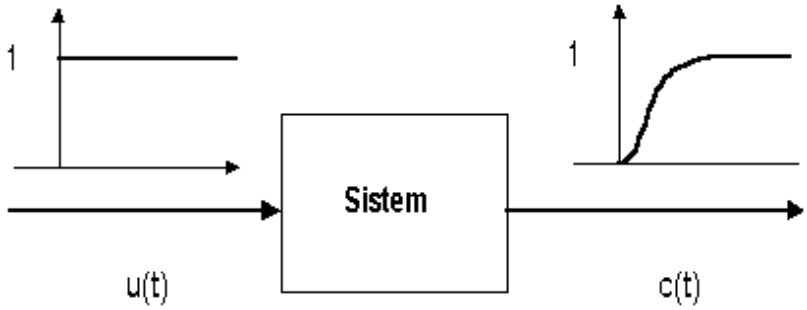
Ziegler-Nichols pertama kali memperkenalkan metodenya pada tahun 1942. Metode ini memiliki dua cara, metode osilasi dan kurva reaksi. Kedua metode ditujukan untuk menghasilkan respon sistem dengan lonjakan maksimum sebesar 25%. Gambar 2.22 memperlihatkan kurva dengan lonjakan 25%.



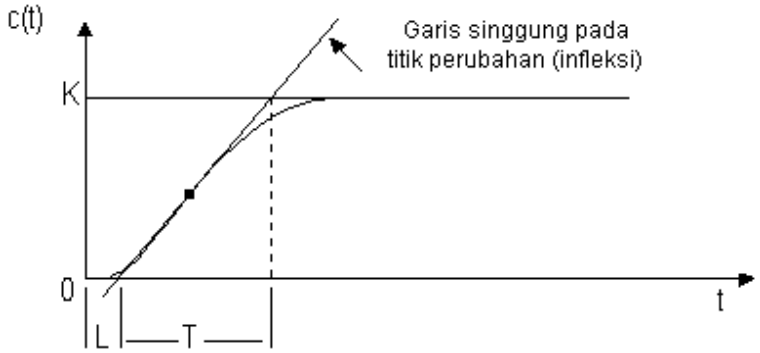
Gambar 2.22 Kurva respons tangga satuan yang memperlihatkan 25 % lonjakan maksimum.

- **Metode Kurva Reaksi**

Metode ini didasarkan terhadap reaksi sistem untaian terbuka. Plan sebagai untaian terbuka dikenai sinyal fungsi tangga satuan (Gambar 2.23). Kalau plan minimal tidak mengandung unsur integrator ataupun pole-pole kompleks, reaksi sistem akan berbentuk S. Gambar 2.24 menunjukkan kurva berbentuk S tersebut.



Gambar 2.23 Respon tangga satuan sistem



Gambar 2.24 Kurva respon berbentuk S.

Kelemahan metode ini terletak pada ketidakmampuannya untuk plan integrator maupun plan yang memiliki pole kompleks.

Kurva berbentuk S mempunyai dua konstanta, waktu mati L dan waktu tunda T. Dari Gambar 2.24 terlihat bahwa kurva reaksi berubah naik, setelah selang waktu L. Sedangkan waktu tunda menggambarkan perubahan kurva setelah mencapai 66% dari keadaan mantapnya. Pada kurva dibuat suatu garis yang bersinggungan dengan garis kurva. Garis singgung itu akan memotong dengan sumbu absis dan garis maksimum. Perpotongan garis singgung dengan sumbu absis merupakan ukuran waktu mati, dan perpotongan dengan garis maksimum merupakan waktu tunda yang diukur dari titik waktu L.

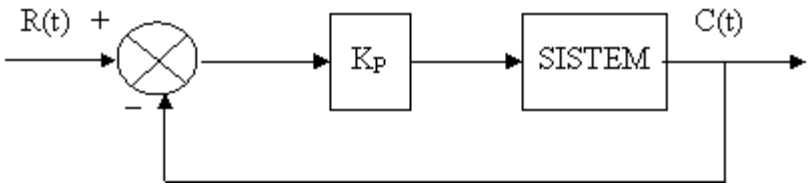
Penalaan parameter PID didasarkan perolehan kedua konstanta itu. Zeigler-Nichols melakukan eksperimen dan menyarankan parameter penyetelan nilai Kp, Ki, dan Kd dengan didasarkan pada kedua parameter tersebut. Tabel 2.14 merupakan rumusan penalaan parameter PID berdasarkan cara kurva reaksi.

Tabel 2.14 Penalaan paramater PID dengan metode kurva reaksi

Tipe Kendali	K_p	K_i	K_d
P	T/L	~	0
P I	0,9 T/L	L/0.3	0
PID	1,2 T/L	2L	0,5L

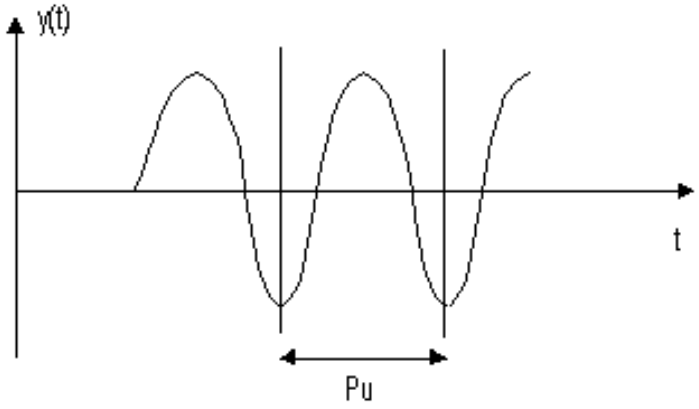
- **Metode Osilasi**

Metode ini didasarkan pada reaksi sistem untaian tertutup. Plan disusun serial dengan kendali PID. Semula parameter-parameter integrator disetel tak terhingga dan parameter diferensial disetel nol (Ki = ~ ;Kd = 0). Parameter proporsional kemudian dinaikkan secara bertahap. Mulai dari nol sampai mencapai harga yang mengakibatkan reaksi sistem berosilasi. Reaksi sistem harus berosilasi dengan magnitude tetap (sustain oscillation). Gambar 2.38 menunjukkan rangkaian untaian tertutup pada cara osilasi.



Gambar 2.25 Sistem untaian tertutup dengan alat kontrol proporsional

Nilai penguatan proportional pada saat sistem mencapai kondisi sustain oscillation disebut ultimate gain Ku. Periode dari sustained oscillation disebut ultimate period Tu. Gambar 2.26 menggambarkan kurva reaksi untaian tertutup ketika berosilasi.



Gambar 2.26 Kurva respon sustain oscillation

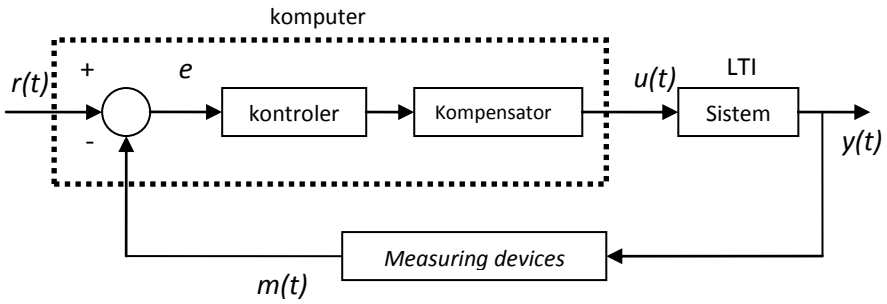
Penalaan parameter PID didasarkan terhadap kedua konstanta hasil eksperimen, Ku dan Pu. Ziegler-Nichols menyarankan penyetelan nilai parameter Kp, Ki, dan Kd berdasarkan rumus yang diperlihatkan pada Tabel 2.15.

Tabel 2.15 Penalaan Paramater Pid dengan Metode Osilasi

Tipe Kendali	K_p	Ki	Kd
P	$0,5.K_u$		
PI	$0,45.K_u$	$1/2\ P_u$	
PID	$0,6.K_u$	$0,5\ P_u$	$0,125\ P_u$

2.10 Metode Analisis Kestabilan

2.10.1 Konsep Sistem Kendali



Gambar 2.27 Diagram kotak sistem kendali dengan umpan balik

Secara umum, tujuan sistem kendali adalah untuk mendapatkan luaran yang dikehendaki dengan jalan pemberian masukan "paksa" (isyarat paksa). Analisis sistem kendali selalu dimulai dengan menampilkan diagram kotak sistem kendali secara umum Gambar 2.27 yang mempunyai komponen sebagai berikut:

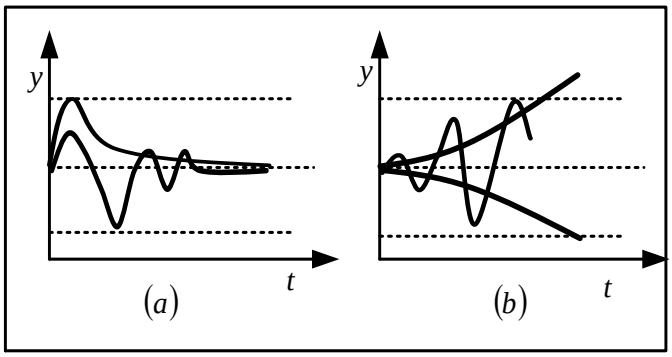
1. **Kontroler** sebagai alat pengendali dalam suatu proses kendali.
2. **Kompensator** adalah perangkat tambahan yang disisipkan dalam suatu sistem yang berfungsi untuk memperbaiki ketidaksempurnaan kinerja sistem.
3. ***Process*** adalah dinamika suatu sistem (peralatan atau materi) fisik atau kimia.
4. ***Measuring device*** atau sensor merupakan bagian dari sistem kendali yang berfungsi untuk mendeteksi besaran-besaran fisis dari proses.

2.10.2 Analisis Kestabilan

Stabilitas sistem kendali merupakan tujuan dari proses kendali. kestabilan sebuah sistem ditentukan oleh letak *pole-pole* ada disebelah kiri sumbu imajiner (BIBO *stability*). Bila sistem tidak stabil maka sistem akan mengalami osilasi, karena ini penting untuk suatu penjaminan suatu sistem kendali berada pada kondisi stabil.

Sebuah sistem dinamis dikatakan stabil jika untuk setiap masukan yang terikat menghasilkan keluaran yang terikat pula tanpa memperhitungkan kondisi awalnya. Sistem yang tidak memenuhi definisi diatas maka disebut tidak stabil.

Menurut definisi yang telah disebut sebelumnya, “Terikat” adalah suatu masukan yang berada diantara batas atas dan batas bawah (seperti pada sinusoidal, *step*). Respon stabil dan tidak stabilnya suatu sistem dapat dilihat pada Gambar (2.28).



Gambar 2.28 Respon sistem (a) Stabil (b) Tidak stabil

Kestabilan diartikan bahwa suatu sistem yang stabil senantiasa dibawah kendali. Maka suatu sistem yang stabil akan menanggapi masukan yang diberikan dalam beberapa yang layak. Untuk sistem yang tidak stabil hanya terdapat sedikit hubungan yang nyata antar masukan sistem dengan keluaran. Analisis kestabilan pada suatu sistem analog linier tak berubah dengan waktu (*Linear Time Invariant* atau LTI) digunakan kestabilan masukan terbatas keluaran terbatas (*BIBO*).

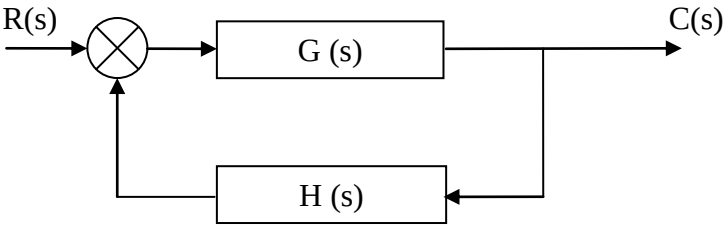
Definisi kestabilan *BIBO* adalah suatu sistem stabil *BIBO*, jika untuk setiap masukan terbatas, maka keluaran akan terbatas dengan pertambahan waktu. Untuk suatu sistem linier tidak ubah dengan waktu, definisi ini menghendaki semua *pole* dari fungsi-alih kalang tertutup (semua akar persamaan karakteristik sistem) terletak disebelah kiri sumbu khayal bidang kompleks. Oleh karena itu suatu analisis kestabilan memerlukan ketentuan jika fungsi-alih kalang tertutup mempunyai sebuah *pole* pada sumbu khayal atau disebelah kanan sumbu khayal bidang-*s*. Suatu sistem stabil pada batas jika semua *pole* disebelah kiri sumbu khayal bidang kompleks, kecuali untuk *pole-pole* sederhana pada sumbu khayal.

Metode dari analisis kestabilan yang akan digunakan adalah kriteria *Root Locus*. Metode *Root Locus* dilaksanakan dengan menentukan *transfer function* dari sistem kendali.

2.10.3 Analisa Kestabilan Root Locus

Root Locus (RL) adalah gambar kedudukan akar-akar Persamaan Karakteristik (PK) dari sistem *Open Loop Transfer Function* (OLTF) dengan salah satu parameternya berfungsi sebagai variabel dan berdasarkan pada nilai pole dan zero yang terdapat pada OLTF. Biasanya, parameter yang digunakan sebagai variabel adalah faktor penguatan k, dengan $0 < k < \infty$.

Menggunakan metode RL ini, dapat diperoleh pole *close loop* dengan asumsi bahwa letak pole dan zero dari open loop diketahui dan faktor penguatan sebagai varibel.



Gambar 2.29 Diagram Blok Sistem Loop Tertutup

Dari gambar diatas didapatkan Closed Loop Transfer Function (CLTF) sebagai berikut:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)H(s)}$$

Dimana:

G (s) = Fungsi Alih Sistem

$$= \frac{output}{input} = \frac{Y\ (s)}{X\ (s)}$$

$$= \frac{a_n S^n + a_{n-1} S^{n-1} + \dots a_0}{b_n S^n + b_{n-1} S^{n-1} + \dots b_0}$$

Persamaan karakteristik (PK) dari fungsi alih tersebut adalah :

$1 + G(s)H(s) = 0$

Atau

$G(s)H(s) = -1$

maka akar-akar PK adalah harga-harga s (kompleks) yang memenuhi 2 syarat, yaitu:

a. Syarat Sudut (angle):

$\angle(G(s)H(s)) = \pm 180° (2k + 1)$, untuk k = 0, 1, 2, 3, …

b. Syarat Magnitude :

$|G(s)H(s)| = 1$

Jadi harga-harga s yang memenuhi syarat sudut dan syarat magnitude adalah akar-akar dari PK atau pole dari CLTF. Gambar dari semua titik yang memenuhi syarat sudut disebut Root Locus. Akar PK yang berhubungan dengan satu harga faktor gain K ditentukan dengan syarat magnitudo.

Contoh :

Fungsi alih loop terbuka diberikan oleh persamaan:

$G(s) = \frac{K}{s(s+1)(s+2)}$, diasumsikan nilai $K \geq 0$

Dan

$H(s) = 1$

Sehingga persamaan karakteristiknya menjadi :

$G(s) + 1 = 0$

Sketsa *Root-Locus*

1. Menentukan *Root-Locus* pada sumbu real.

Dalam hal ini yang menentukan pertama kali adalah kutub-kutub dari lup terbuka system. Untuk contoh G(s) di atas adalah :

$S_1 = 0$; $S_2 = -1$; $S_3 = -2$

Untuk menentukan *Root-Locus* pada sumbu real, dilakukan pengujian untuk titik-titik pada sumbu real dengan berpedomankan kutub-kutub yang mungkin sebagai tempat kedudukan akar sistem. Adapun pengujiannya sebagai berikut :

- Titik uji s pada sumbu real positif, maka :

$\angle(s) = \angle(s+1) = \angle(s+2) = 0°$, sehingga

$-\angle(s) - \angle(s+1) - \angle(s+2) = 0°$

Dapat dilihat bahwa sudut yang dihasilkan tidak sesuai / tidak memenuhi $\angle G(s) = \pm 180° (2k + 1)$, k =0, 1, 2, …, sehingga pada sumbu real positif **tidak terdapat root-locus**.

- Titik uji s pada sumbu real negatif antara 0 dan –1, maka :

$\angle(s) = 180°$, $\angle(s+1) = \angle(s+2) = 0°$, sehingga

$-\angle(s) - \angle(s+1) - \angle(s+2) = -180°$

Sudut yang dihasilkan sesuai / memenuhi $\angle G(s) = \pm 180° (2k + 1)$, k =0, 1, 2, … (dengan nilai k = 0), sehingga antara pole s = 0 dan s = –1 **terdapat Root-Locus** dan merupakan bagian dari root-locus.

- Titik uji s pada sumbu real negatif antara –1 dan –2, maka :

$\angle(s) = \angle(s+1) = 180°$, dan $\angle(s+2) = 0°$, sehingga

$-\angle(s) - \angle(s+1) - \angle(s+2) = -360°$

Dapat dilihat bahwa sudut yang dihasilkan tidak sesuai / tidak memenuhi $\angle G(s) = \pm 180° (2k + 1)$, k =0, 1, 2, …, sehingga pada sumbu real negatif antara pole s = –1 dan s = –2 **tidak terdapat root-locus**.

- Titik uji s pada sumbu real negatif antara –2 hingga $-\infty$, maka :

$\angle(s) = \angle(s+1) = \angle(s+2) = 180°$, sehingga

$-\angle(s) - \angle(s+1) - \angle(s+2) = -540°$

Sudut yang dihasilkan memenuhi $\angle G(s) = \pm 180° (2k + 1)$, k =0, 1, 2, … (dengan nilai k = 1), sehingga antara pole s = –2 hingga –∞ **terdapat root-locus** dan merupakan bagian dari root-locus.

2. Menentukan asimptot-asimptot dari root-locus.

Untuk mengetahui banyak asimptot, didapatkan dengan cara :

n – m = 3 – 0 = 3

dimana : n = banyaknya pole loop terbuka

m = banyaknya zero loop terbuka

Nilai sudutnya diberikan oleh :

Sudut-sudut asimptot = $\frac{\pm 180° (2k+1)}{3}$, untuk k = 0, 1, 2, …

Untuk nilai-nilai k =0, 1, 2, …, didapatkan sudut-sudut perulangan dari tiga sudut saja, yakni 60°, –60°, dan 180°, yang merupakan sudut-sudut dari garis asimptot terhadap sumbu real bidang s.

Agar garis asimptot dapat digambarkan, maka harus dicari titik potongnya dengan sumbu real bidang s.

Untuk titik uji di s mendekati tak terhingga, maka persamaan karakteristik dapat dituliskan menjadi:

$G(s) = \frac{K}{s^3+3s^2+ ...} = -1$

$s^3 + 3s^2 + \ldots = -K$

untuk nilai s yang besar, persamaan tersebut dapat didekati dengan persamaan:

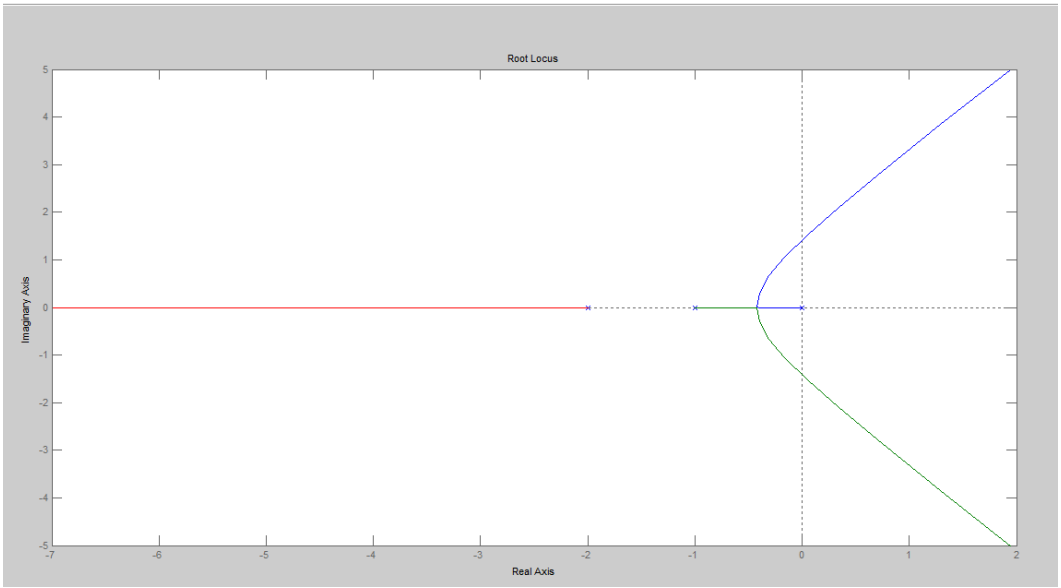
$(s + 1)^3 = 0 \rightarrow s = -1$, merupakan titik potong antara asimptot dan sumbu real bidang s, yaitu pada titik (–1, 0).

3. Menggambarkan root locus dengan matlab.

Untuk melihat root locus pada matlab digunakan script sebagai berikut.

```
num=[0 0 0 1];
den=[1 3 2 0];
rlocus(num,den);
```

Hasilnya adalah sebagai berikut.



Gambar 2.30 Root Locus menggunakan Matlab