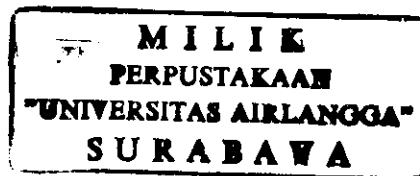


Departemen Pendidikan Dan Kebudayaan
Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi
Universitas Airlangga

**PERANCANGAN ANEMOMETER ELEKTRODIGITAL
DENGAN SENSOR OPTOMEKANIK**

Ketua Peneliti :
Drs. MUZAKKI

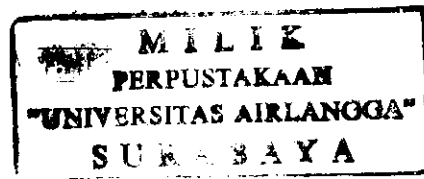


0012219943141

LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

Dibiayai Oleh : SPP/DPP Unair 1992/1993
SK. Rektor Nomor : 10769/PT.03.H/N/1992

Nomor Urut : 39



0012219943141

**PERANCANGAN ANEMOMETER ELEKTRODIGITAL
DENGAN SENSOR OPTOMEKANIK**

Oleh :

Drs. Muzakki

FAKULTAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

Jl. Darmawasa Dalam 2 Telp. 42322

S u r a b a y a



LEMBAGA PENELITIAN

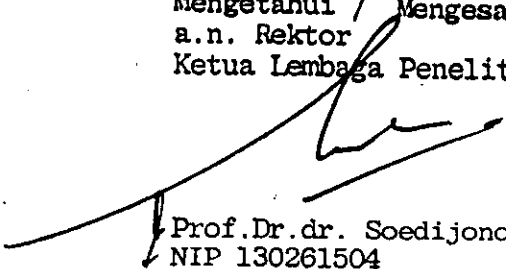
Jl. Darmawangsa Dalam 2 Telp. (031) 42322 Surabaya 60286

IDENTITAS DAN PENGESAHAN

LAPORAN AKHIR HASIL PENELITIAN

1. a. Judul Penelitian : "Perancangan Anemometer Elektrodigital Dengan Sensor Optomekanik"
- b. Macam Penelitian : (V) Fundamental, () ~~Terapan~~, (V) Pengembangan
2. Kepala Proyek Penelitian :
 - a. Nama Lengkap Dengan Gelar : Drs. Muzakki
 - b. Jenis Kelamin : Laki-laki
 - c. Pangkat/Golongan dan NIP : Penata Muda TK.I/IIIB/131 570 359
 - d. Jabatan Sekarang : Staf Pengajar
 - e. Fakultas / Jurusan : MIPA/Fisika
 - f. Univ./Inst./Akademi : Universitas Airlangga
 - g. Bidang Ilmu Yang Diteliti : -
3. Jumlah Tim Peneliti : 1 (satu) orang
4. Lokasi Penelitian : -
5. Bila penelitian ini merupakan peningkatan kerjasama kelembagaan, sebutkan :
 - a. Nama Instansi : -
 - b. A l a m a t : -
6. Jangka Waktu Penelitian : 6 (enam) bulan
7. Biaya Yang Diperlukan : Rp 2.000.000,-
8. Hasil Penilaian : () ~~Baik-Sangat~~, (V) Baik, () Sedang, () ~~Kurang~~

Mengetahui / Mengesahkan :
a.n. Rektor
Ketua Lembaga Penelitian,


Prof. Dr. dr. Soedijono
NIP 130261504

RINGKASAN PENELITIAN

Judul Penelitian: Perancangan Anemometer Elektrodigital
 Dengan Sensor Optomekanik
 Ketua Peneliti : Muzakki
 Anggota Peneliti: -
 Fakultas/ Puslit: MIPA Universitas Airlangga
 Sumber Biaya : SPP/DPP Universitas Airlangga
 tahun 1992/1993
 S.K. Rektor Nomor: 10769/PT.03.H/N/1992
 Tanggal: 30 Desember 1992

Anemometer adalah alat untuk mengukur kecepatan angin. Anemometer elektrodigital dirancang secara elektronik digital yang memiliki kepresisian tinggi dan dimensi kecil jika dibandingkan dengan anemometer konvensional.

Pernmasalahan yang akan dipecahkan dalam penelitian ini meliputi hal-hal berikut.

1. Apakah anemometer elektrodigital layak untuk alat ukur kecepatan angin.
2. Apakah ada kesejajaran isometrik antara pengukuran kecepatan angin dengan menggunakan anemometer elektrodigital dan kecepatan angin yang diberikan oleh kalibrator.

Tujuan penelitian adalah merancang anemometer elektrodigital dengan menggunakan sensor optomekanik yang memiliki dimensi kecil, daya listrik rendah, peraga berbentuk angka desimal, batas ukur kecepatan angin yang dapat diukur sampai sekitar 100 km/h atau sekitar 30 m/s, kepresisian yang tinggi, dan keakurasian yang tinggi.

Prototype anemometer elektrodigital yang menggunakan sensor optomekanik dapat digunakan sebagai peralatan alternatif untuk menggantikan anemometer mangkok putar.

Hipotesis penelitian adalah:

- H_0 : Tidak ada kesejajaran isometrik antara hasil pengukuran anemometer elektrodigital dan kalibrator.
 H_1 : Ada kesejajaran isometrik antara hasil pengukuran anemometer elektrodigital dan kalibrator.

Lokasi penelitian di ruang laboratorium penelitian Fisika FMIPA Universitas Airlangga.

Sumber kepekaan alat adalah sensor optomekanik yang bekerja secara optik dan mekanik yang mengubah kecepatan angin menjadi pulsa tegangan listrik untuk disuapkan pada rangkaian elektronik digital.

Rangkaian elektronik digital bekerja secara digital dengan kepresisian tinggi. Komponen utama rangkaian elektronik adalah IC CMOS yang berdaya rendah. Jenis IC yang digunakan adalah CD 4026, CD 4035, CD 4017, CD 4520, CD 4011, dan MM 5369. Peragaan keluaran alat berupa 4 buah LED 7-segment anode-bersama. Satuan kecepatan angin yang dipergakan adalah m/s dengan 2 buah angka di belakang koma.

Pewujudan alat yang meliputi pewujudan sensor optomekanik, tata-letak panel alat, rakitan rangkaian elektronik

di atas printed circuit board (PCB), pengawatan, dan pengkotakan alat sampai siap untuk dikalibrasi.

Perancangan tata-letak panel alat merupakan perancangan awal alat yang berkaitan dengan pengaturan letak socket sensor, sakelar, peraga desimal, dan satuan kecepatan yang digunakan di atas panel atas alat.

Kalibrator kecepatan angin dirancang berbentuk batang putar memanjang yang berputar terhadap sumbu putarnya.

Kalibrasi alat bertujuan untuk menyesuaikan angka desimal yang ditampilkan oleh peraga desimal alat dengan kecepatan linier sensor optomekanik pada kalibrator. Kalibrasi alat dilakukan untuk sebuah nilai kecepatan, yaitu 6,28318 m/s yang dihasilkan oleh frekuensi putaran sebesar 1,000 Hz untuk jarak sensor optomekanik sebesar 100 cm terhadap sumbu putar.

Pengujian alat meliputi pengukuran kecepatan linier sensor optomekanik yang ditunjukkan oleh anemometer elektrodigital dan membandingkannya dengan kecepatan linier yang diberikan oleh kalibrator.

Hasil pengukuran diperagakan dalam bentuk bilangan desimal 4 digit dengan digit paling depan maksimum angka 2. Fasilitas overflow diperagakan dalam bentuk angka a.

Analisis data pengamatan kecepatan angin dilakukan dengan uji korelasi regresi, uji banding, dan uji anakova dengan hasil ada kesejajaran isometrik antara hasil pengukuran kecepatan angin dengan anemometer elektrodigital dan nilai kecepatan angin yang diberikan oleh kalibrator.

Penyempurnaan alat dapat dilakukan melalui perancangan sensor yang peka terhadap kecepatan angin. Perancangan kalibrator kecepatan angin yang tinggi sekali juga membantu dalam penyempurnaan perancangan alat.

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa, sebab dengan karunia-Nya, penelitian ini dapat terlaksana.

Kepada semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini baik bantuan moril maupun materiel, penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya.

Penulis melakukan penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan bidang instrumentasi elektronik dan eksperimental yang merupakan bagian disiplin ilmu fisika di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Airlangga.

Kritik dan saran yang membangun selalu terbuka demi kesempurnaan penelitian dan tulisan ini.

Surabaya, Agustus 1993

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	vi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Permasalahan	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Asumsi Penelitian	4
1.6 Hipotesis Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Perancangan Sensor Optomekanik	5
2.1.1 Opto-coupler	5
2.1.2 Baling-baling	7
2.2 Perancangan anemometer elektrodigital	8
2.2.1 Osilator kristal	10
2.2.2 Pembagi frekuensi	10
2.2.3 Pencacah-peraga desimal	13
2.2.4 Pengendali cacahan	27
2.3 Perancangan kalibrator kecepatan angin	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1 Pewujudan Anemometer Elektrodigital	33
3.1.1 Sensor optomekanik	33

3.1.2 Tata-letak panel alat	34
3.1.3 Rangkaian elektronik anemometer elektro- digital	34
3.1.4 Rakitan rangkaian elektronik alat	36
3.1.5 Pengawatan dan pengkotakan alat	36
3.2 Pewujudan Kalibrator	38
3.3 Kalibrasi Alat	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Pengujian Alat	42
4.2 Analisis Data Percobaan	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
APENDIKS	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (a) Susunan optocoupler	6
(b) Rangkaian optocoupler dengan penghalang bercelah	6
Gambar 2.2 Diagram waktu pensakelaran optocoupler dengan penghalang	7
Gambar 2.3 Diagram blok anemometer elektrodigital ...	9
Gambar 2.4 Rangkaian elektronik osilator kristal	10
Gambar 2.5 Rangkaian elektronik pembagi frekuensi ...	11
Gambar 2.6 Diagram waktu pencacah biner 4 bit dengan Clk = 0	11
Gambar 2.7 Diagram waktu IC CD 4017 dengan CE = 0 ...	12
Gambar 2.8 Bagan LED 7-segment	15
Gambar 2.9 Rangkaian elektronik pencacah-peraga desimal (a) digit ke-0	19
(b) digit ke-3	19
Gambar 2.10 Diagram waktu proses pencacahan IC CD 4026 dengan DE = 1 dan R = 0	21
Gambar 2.11 Rangkaian elektronik pencacah-peraga desimal	26
Gambar 2.12 Rangkaian elektronik pengendali cacahan ..	30
Gambar 2.13 Diagram waktu proses pencacahan dengan permisalan jalur C aktif sebelum pencacahan berakhir	31
Gambar 2.14 Penampang kalibrator kecepatan angin	32
Gambar 3.1 Penampang sejajar poros sensor optomekanik	34
Gambar 3.2 Tata-letak panel alat	34

Gambar 3.3	Rangkaian elektronik anemometer elektro- digital	35
Gambar 3.4	(a) Tata-jalur dan tata-letak komponen I (b) Tata-letak dan tata-jalur komponen II	37
Gambar 3.5	Bagan pengawatan anemometer elektrodigital	38
Gambar 3.6	Foto anemometer elektrodigital	38
Gambar 3.7	Foto kalibrator	38

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tabel kebenaran IC CD 4026	16
Tabel 2.2	Tabel kebenaran IC CD 4026 sampai dengan pencacahan ke-3	23
Tabel 2.3	Tabel kebenaran masukan LED 7-segment anode-bersama dalam perancangan alat	23
Tabel 2.4	Tabel kebenaran rangkaian pengendali cacahan	26
Tabel 4.1	Data pengukuran kecepatan linier	43
Tabel 4.2	Tabel perubahan frekuensi atau periode kalibrator menjadi kecepatan	44

BAB I

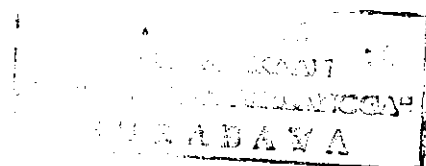
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Lingkungan hidup ditentukan oleh banyak faktor, di antaranya adalah faktor fisika yang meliputi tekanan udara, ketinggian tempat terhadap permukaan air laut, temperatur, kelembaban, panas matahari, dan kecepatan angin. Keseimbangan antara semua faktor fisika memberikan lingkungan fisis yang baik dan dapat menunjang kelestarian hidup.

Anemometer adalah alat ukur kecepatan angin atau aliran udara. Anemometer konvensional bekerja secara mekanik dan listrik analog. Bagian mekanik berupa mangkok putar yang merupakan sensor mekanik dengan dimensi cukup besar, sehingga tidak praktis. Mangkok putar ini memutar generator listrik kecil yang dihubungkan dengan bagian peraga alat berupa ampereneter. Penunjukan skala arus listrik dikalibrasi terhadap nilai kecepatan angin yang akan diukur.

Anemometer yang akan dirancang dalam penelitian ini menggunakan sensor optomekanik dengan dimensi kecil yang merupakan perpaduan mekanik dan optik. Sensor optomekanik berupa baling-baling kecil yang dapat mengubah gerak translasi aliran udara dengan kecepatan tertentu menjadi gerak rotasi dengan kecepatan sudut tertentu secara linier. Linieritas sensor mekanik yang merupakan sensor primer alat ini sangat menunjang pengolahan isyarat berikutnya secara elek-



tronik digital. Sensor opto-coupler yang merupakan sensor sekunder mengubah gerak rotasi menjadi pulsa-pulsa digital yang akan diproses oleh bagian elektrodigital. Sensor opto-coupler ini bekerja secara optik yang berisi dua jenis komponen semikonduktor, yaitu diode pemancar sinar infra merah dan phototransistor yang peka terhadap sinar infra merah.

Untuk memperoleh tingkat kepresisian yang tinggi digunakan osilator kristal sebagai pewaktu dasar yang mengendalikan waktu pencacahan pulsa.

Peragaan keluaran alat berupa peraga 7-segmen yang memberikan skala langsung dalam bentuk angka desimal dengan beberapa angka di belakang koma.

Sensor optomekanik yang relatif kecil dan peragaan keluaran berupa angka desimal membuat alat ini lebih kecil, lebih presisi, dan lebih praktis jika dibandingkan dengan anemometer konvensional.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dipecahkan dalam penelitian ini meliputi hal-hal berikut.

1. Apakah anemometer elektrodigital layak untuk alat ukur kecepatan angin.
2. Apakah ada kesejajaran isometrik antara pengukuran kecepatan angin dengan menggunakan anemometer elektrodigital dan kecepatan angin yang diberikan oleh kalibrator.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini meliputi hal-hal berikut.

1. Perancangan anemometer elektrodigital dengan menggunakan sensor optomekanik yang memiliki dimensi kecil, daya listrik rendah, peraga berbentuk angka desimal, batas ukur kecepatan angin yang dapat diukur sampai sekitar 100 km/h atau sekitar 30 m/s, kepresisian yang tinggi, dan keakurasian yang tinggi.
2. Penggunaan konsep optik dan mekanik pada sensor optomekanik untuk mempertinggi kepekaan anemometer elektrodigital.

1.4 Manfaat Penelitian

Prototype anemometer elektrodigital yang menggunakan sensor optomekanik dapat digunakan sebagai peralatan alternatif untuk menggantikan anemometer mangkok putar. Pengembangan selanjutnya menuju pada penyempurnaan alat terutama pembuatan sensor optomekanik yang peka dan penyederhanaan rangkaian elektronik, sehingga harganya dapat terjangkau konsumen.

1.5 Asumsi Penelitian

Pada pengkalibrasian alat, putaran lempeng kalibrator bersama-sama dengan sensor optomekanik diasumsikan tidak menggerakkan udara di sekitar sensor. Dengan membuat diameter lempeng cukup besar kemungkinan kalibrator menggerakkan

udara di sekitar sensor optomekanik kecil sekali. Di samping itu kecepatan tangensial yang dialami sensor akibat perputaran kalibrator diasumsikan sama dengan kecepatan translasi.

1.6 Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian adalah:

- H_0 : Tidak ada kesejajaran isometrik antara hasil pengukuran kecepatan angin dengan anemometer elektrodigital dan kecepatan angin yang diberikan oleh kalibrator.
- H_1 : Ada kesejajaran isometrik antara hasil pengukuran kecepatan angin dengan anemometer elektrodigital dan kecepatan angin yang diberikan oleh kalibrator.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perancangan Sensor Optomekanik

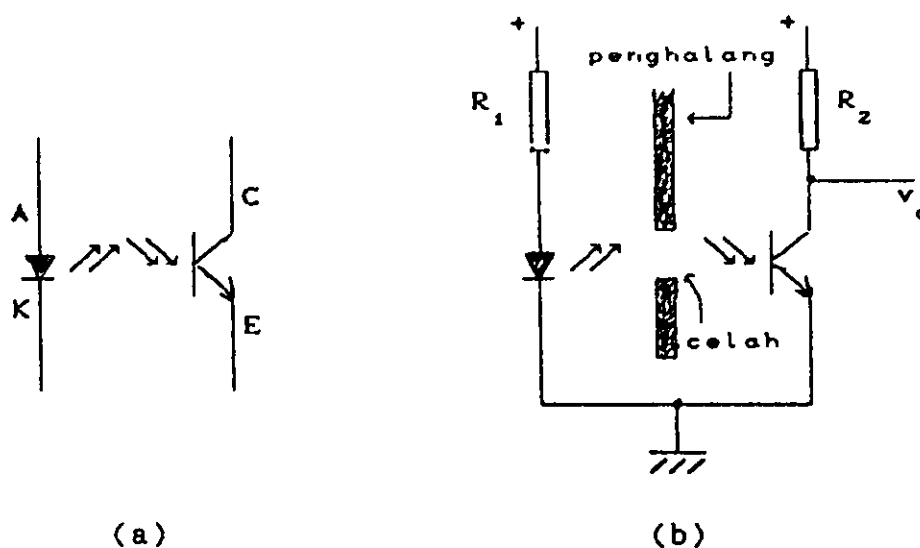
Sensor optomekanik bekerja secara optik dan mekanik. Bagian optik berupa komponen opto-coupler, sedangkan bagian mekanik berupa baling-baling kecil yang dapat berputar jika ditempa angin. Kedua bagian ini akan dijelaskan pada pembahasan berikut.

2.1.1 Opto-coupler

Opto-coupler adalah komponen elektronik yang bekerja secara optik yang dapat mengubah pulsa-pulsa optik menjadi pulsa-pulsa tegangan listrik.

Opto-coupler terdiri atas 2 buah komponen elektronik yang dikemas menjadi satu kesatuan, yaitu light emitting diode (LED) dan phototransistor, seperti ditunjukkan oleh gambar 2.1(a). Antara LED dan phototransistor terdapat celah sempit sebagai tempat penghalang.

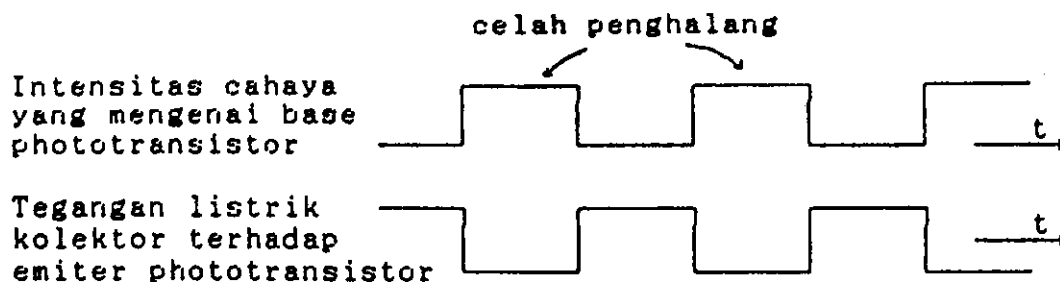
LED adalah diode yang dapat memancarkan cahaya jika dialiri arus listrik maju. Cahaya yang dipancarkan dapat berupa cahaya tampak atau cahaya tidak tampak. LED memiliki 2 buah terminal, yaitu anode (A) dan katode (K), sedangkan phototransistor memiliki 2 buah terminal secara elektronik, yaitu kolektor (C) dan emiter (E). Terminal base phototransistor dihubungkan dengan LED secara optik. Jika cahaya



Gambar 2.1 (a) Susunan opto-coupler
 (b) Rangkaian opto-coupler dengan penghalang bercelah

tampak atau tidak tampak mengenai base phototransistor dan antara kolektor dan emiter diberi tegangan listrik, maka phototransistor akan saturasi dan nilai tegangan listrik kolektor terhadap emiter mendekati nol.

Opto-coupler dapat juga digunakan untuk mengisolasi 2 buah rangkaian elektronik. Rangkaian yang satu dihubungkan dengan LED dan rangkaian yang lain dihubungkan dengan phototransistor. Antara kedua rangkaian tidak terhubung secara elektronik, tetapi terhubung secara optik. Pada perancangan anamometer digital, antara LED dan phototransistor diselipi penghalang berupa plat bercelah berbentuk lingkaran yang dapat berputar seirama dengan perputaran baling-baling, sehingga opto-coupler berfungsi sebagai sakelar transistor. Rangkaian opto-coupler dengan suatu penghalang ditunjukkan



Gambar 2.2 Diagram waktu pensakelaran optocoupler dengan penghalang

oleh gambar 2.1(b). Pada saat cahaya LED terhalang, phototransistor akan cut-off dan pada saat yang lain phototransistor akan saturasi. Diagram waktu pensakelaran optocoupler ditunjukkan oleh gambar 2.2.

Jika jumlah celah pada penghalang adalah a buah, maka jumlah pulse tegangan listrik yang dihasilkan setiap satu kali putaran adalah

$$N = a \quad (2-1)$$

2.1.2 Baling-baling

Baling-baling merupakan bagian mekanik sensor optomekanik. Baling-baling dibuat dari bahan plat logam tipis dan ringan. Sumbu baling-baling dirancang sedemikian rupa sehingga gesekan yang terjadi pada saat berputar kecil sekali dan dapat diabaikan.

Jika angin menempa sudu-sudu baling-baling, maka baling-baling akan berputar dengan kecepatan putar sebanding dengan kecepatan angin yang menempasnya. Di samping itu,

kecepatan putar baling-baling juga ditentukan oleh sudut antara normal bidang sudu terhadap sumbu putar. Makin besar sudutnya, makin kecil kecepatan putarnya.

Plat bercelah yang berfungsi sebagai penghalang cahaya dilekatkan pada baling-baling secara konsentris.

Jika jumlah putaran baling-baling per satuan waktu adalah f_b dan jumlah celah adalah a , maka jumlah pulsa tegangan listrik per satuan waktu adalah

$$\frac{N}{t} = f_b a \quad (2-2)$$

Hubungan antara N/t dengan kecepatan angin v_a adalah

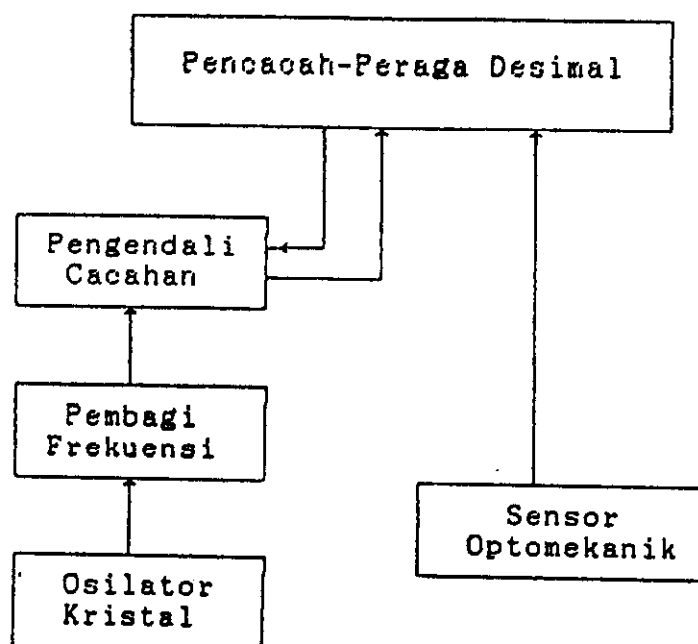
$$\frac{N}{t} = k v_a \quad (2-3)$$

dengan k adalah konstanta.

2.2 Perancangan Anemometer Elektrodigital

Perancangan anemometer elektrodigital dimulai dari pembahasan alat secara blok yang disertai dengan kaitan antar blok. Diagram blok anemometer elektrodigital ditunjukkan oleh gambar 2.3.

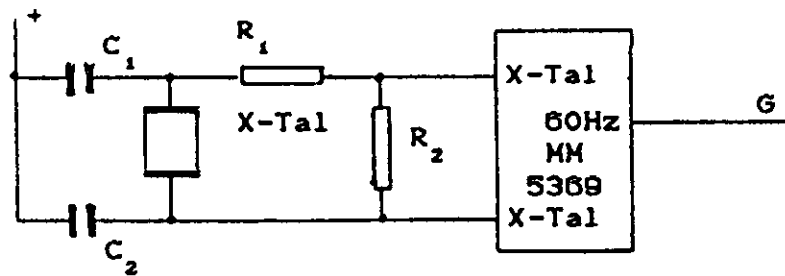
Osilator kristal mengeluarkan tegangan listrik berupa pulse periodik dan merupakan bagian yang memiliki kepresisian tinggi. Bagian ini menggunakan IC osilator, kristal, dan komponen-komponen pasif berupa resistor dan kapasitor. Osilator ini memiliki kestabilan yang tinggi terhadap perubahan temperatur pengoperasian. Frekuensi keluaran osilator



Gambar 2.3 Diagram blok anemometer elektrodigital

terdiri atas 2 macam, yaitu frekuensi 3,579545 MHz dan 60 Hz. Dalam perancangan alat ini, frekuensi keluaran yang digunakan adalah 60 Hz. Keluaran osilator ini disuapkan pada rangkaian pembagi frekuensi yang selanjutnya disambungkan pada masukan pencacahperaga desimal.

Rangkaian pencacah-peraga desimal menggunakan beberapa buah IC membentuk 4 digit desimal. Rangkaian ini memiliki 2 buah terminal masukan. Sebuah masukan rangkaian pencacah-peraga desimal dihubungkan dengan sensor optomekanik dan masukan yang lain dihubungkan dengan pembagi frekuensi melalui rangkaian pengendali cacahan.



Gambar 2.4 Rangkaian elektronik osilator kristal

2.2.1 Osilator kristal

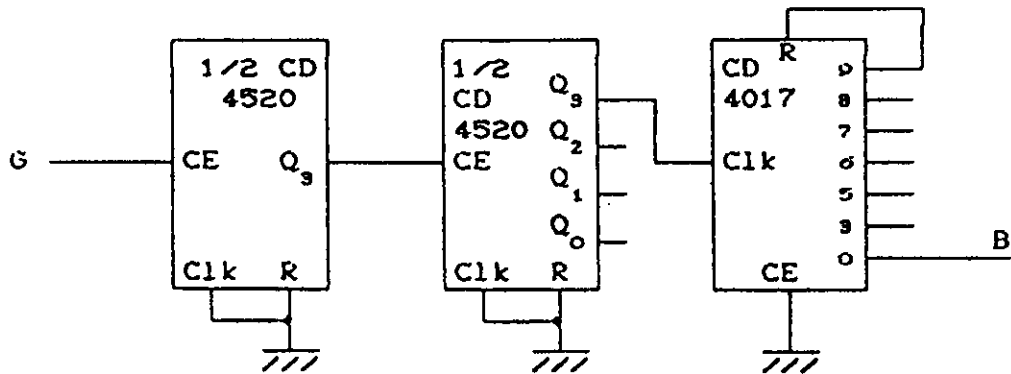
Rangkaian osilator kristal menggunakan IC MM 5369. Di dalam IC ini terdapat rangkaian pembagi frekuensi dengan faktor pembagi tertentu sampai menghasilkan tegangan keluaran periodik berfrekuensi sebesar 60 Hz. Periode tegangan keluarannya sangat stabil terhadap perubahan temperatur pengoperasian, sebab osilator ini menggunakan kristal dengan frekuensi alami sebesar 3,578545 MHz.

Rangkaian elektronik osilator kristal ditunjukkan oleh gambar 2.4.

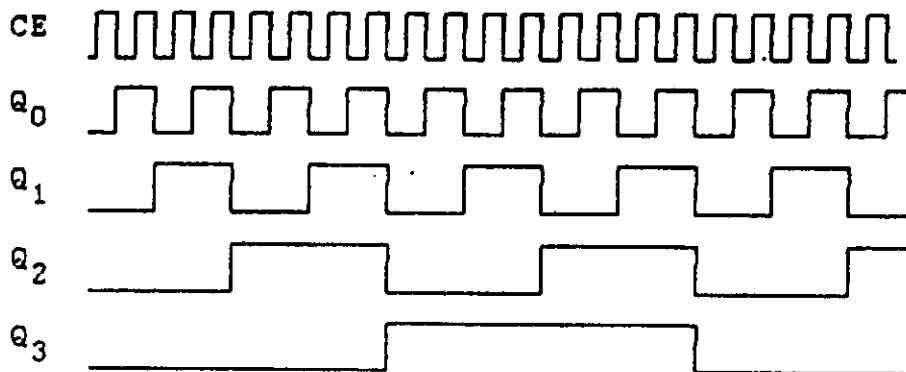
Penggunaan sebuah IC sebagai komponen pokok osilator kristal merupakan suatu upaya untuk penghematan biaya pembuatan alat dengan cara memperkecil jumlah komponen yang digunakan.

2.2.2 Pembagi frekuensi

Rangkaian elektronik pembagi frekuensi terdiri atas 2 buah pencacah biner 4 bit dan sebuah pencacah dekade.



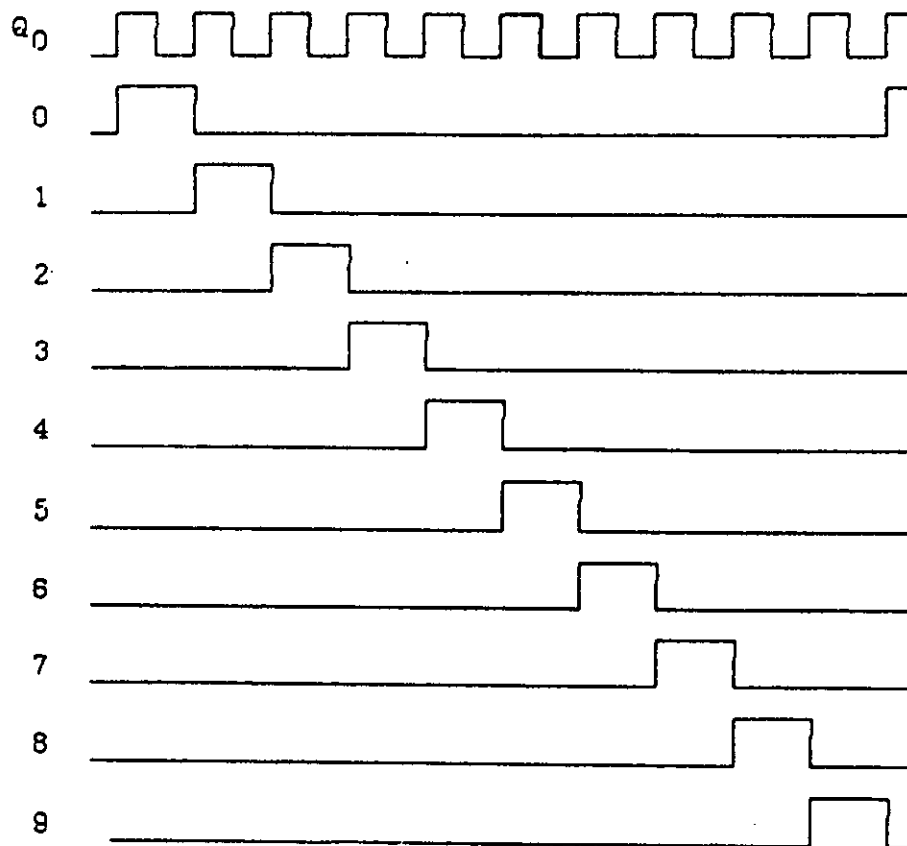
Gambar 2.5 Rangkaian elektronik pembagi frekuensi



Gambar 2.6 Diagram waktu pencacah biner 4 bit
dengan Clk = 0
(sumber: -.CMOS Data Book)

Rangkaian elektronik pembagi frekuensi dibentuk oleh IC CD 4520 (dual 4 bit binary counter) yang mengandung 2 buah pencacah biner 4-bit dan IC CD 4017 (decade counter with 10 decoded output), seperti ditunjukkan oleh gambar 2.5.

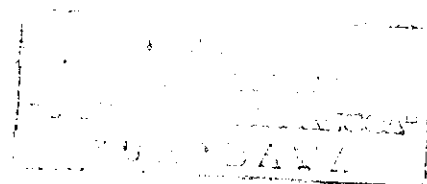
Setengah IC CD 4520 yang merupakan pencacah biner 4 bit memiliki sebuah masukan clock (Clk), sebuah masukan



Gambar 2.7 Diagram waktu IC CD 4017 dengan CE = 0
(sumber: -.CMOS Data Book)

clock enable (CE), sebuah masukan asinkron reset (R), dan 4 buah keluaran, yaitu keluaran Q_3 , Q_2 , Q_1 , dan Q_0 yang masing-masing merupakan bit ke-3, ke-2, ke-1, dan ke-0 bilangan biner. Keempat keluaran ini membentuk bilangan biner dari 0000 sampai dengan 1111. Diagram waktu pencacahan pencacah biner 4 bit ditunjukkan oleh gambar 2.6. Pulsa-pulsa setiap keluaran memiliki duty cycle sebesar 50%.

IC CD 4017 memiliki sebuah masukan clock (Clk), sebuah masukan clock enable (CE), sebuah masukan asinkron reset



(R), dan 10 buah keluaran mulai dari 0 sampai dengan 9. Jika masukan R dalam keadaan aktif atau berlevel 0, maka keluaran 0 akan berlevel 1, sedangkan keluaran yang lain berlevel 0. Diagram waktu IC CD 4017 ditunjukkan oleh gambar 2.7. Jika masukan R diberi level 0, maka pencacahan akan mulai dari 0 sampai dengan 9, sedangkan jika masukan R dihubungkan dengan keluaran n, maka pencacahan akan mulai dari 0 sampai dengan n atau pencacah ini berfungsi sebagai pembagi n. Faktor pembagi rangkaian pembagi frekuensi dengan hubungan seperti gambar 2.5 adalah $16 \times 16 \times 9$.

Pembagi frekuensi dirancang memiliki faktor pembagi yang bervariasi. Beberapa buah keluaran pencacah biner kedua dan beberapa buah pencacah dekade dapat digunakan sebagai pilihan untuk penentuan faktor pembagi. Faktor pembagi sangat penting pada kalibrasi alat.

Keluaran pembagi frekuensi (jalur B) disuapkan pada masukan clock enable (CE) rangkaian pencacah-peraga desimal digit ke-0 melalui rangkaian pengendali cacahan.

2.2.3 Pencacah-peraga desimal

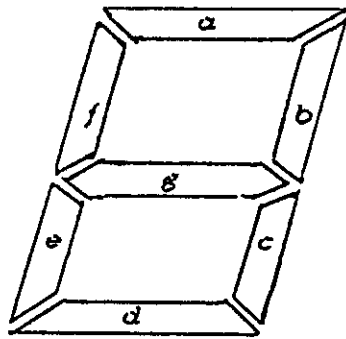
Pencacah-peraga desimal berfungsi mencacah pulsa yang disuapi sensor optomekanik dan memperagakan hasil pencacahan per satuan waktu dalam bentuk digit desimal.

Berdasar atas tujuan penelitian yang membatasi kecepatan angin yang diukur sampai sekitar 100 km/jam atau 27,778 m/s, jumlah peraga digit desimal yang diperlukan

adalah 4 digit, yaitu digit ke-0, ke-1, ke-2, dan ke-3. Antara digit ke-1 dan ke-2 ditempatkan tanda titik yang berarti tanda koma dalam bahasa Indonesia. Dengan membuat satuan peragaan m/s berarti peragaan desimal maksimum yang diharapkan sekitar 27,778. Rancangan ini dapat diwujudkan dengan membatasi peragaan digit desimal ke-3 sampai menunjukkan angka 2 atau sebelum angka 3. Peragaan desimal maksimum secara keseluruhan adalah 28,99 m/s atau 107,964 km/jam. Digit ke-0 memperagakan per seratusan m/s, digit ke-1 memperagakan per sepuluh m/s, digit ke-2 memperagakan satuan m/s, dan digit ke-3 memperagakan maksimum 2 puluhan m/s.

Komponen-komponen elektronik pembentuk pencacah peragaan desimal terdiri atas IC CD 4026 (decade counter with output 7-segment decoder/synchronous), IC CD 4035 (4-bit parallel-in/parallel-out shift register), LED 7-segment, resistor, dan transistor.

LED 7-segmen terdiri atas 7 buah LED yang disusun sedemikian rupa sehingga membentuk angka desimal. Ketujuh buah segmen adalah segmen *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, dan *g*. Salah satu elektrode setiap LED dihubungkan menjadi satu membentuk elektrode-bersama. LED 7-segment katode-bersama memiliki katode sebagai elektrode-bersama, sedangkan LED 7-segment anode-bersama memiliki anode sebagai elektrode-bersama. Setiap LED pada LED 7-segment katodebersama akan menyala jika terminal katode-bersamanya dihubungkan dengan



Gambar 2.8 Bagan LED 7-segment

ground dan anode setiap LED dihubungkan dengan tegangan listrik positif melalui sebuah resistor sebagai pembatas arus listrik, sedangkan setiap LED pada LED 7-segment anode-bersama akan menyala jika terminal anode-bersamanya dihubungkan dengan tegangan listrik positif dan katode setiap LED dihubungkan dengan ground melalui sebuah resistor sebagai pembatas arus listrik. LED 7-segment yang digunakan dalam perancangan alat ini adalah LED 7-segment anode-bersama. Bagan LED 7-segment ditunjukkan oleh gambar 2.8.

IC CD 4026 memiliki sebuah masukan clock (Clk), sebuah masukan clock enable (CE), 2 buah masukan asinkron reset (R) dan display enable (DE), 7 buah keluaran a, b, c, d, e, f, dan g untuk LED 7-segment, sebuah keluaran :10, sebuah keluaran :2, dan sebuah enable output (EO), yang dihubungkan dengan masukan IC berikutnya. Kedua masukan Clk dan CE memiliki sifat aktif saling komplementer. Masukan Clk ber-

Tabel 2.1 Tabel kebenaran IC CD 4026

X = don't care, * = tidak tentu, dan

\sqrt{i} = aktif sisi-positif ke-i

(sumber: Lancaster, D. CMOS Databook)

Masukan				Keluaran							
R	DE	CE	Clk	:10	a	b	c	d	e	f	g
X	0	X	X	*	0	0	0	0	0	0	0
1	1	X	X	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	0	$\sqrt{1}$	1	0	1	1	0	0	0	0
0	1	0	$\sqrt{2}$	1	1	1	0	1	1	0	1
0	1	0	$\sqrt{3}$	1	1	1	1	1	0	0	1
0	1	0	$\sqrt{4}$	1	0	1	1	0	0	1	1
0	1	0	$\sqrt{5}$	0	1	0	1	1	0	1	1
0	1	0	$\sqrt{6}$	0	1	0	1	1	1	1	1
0	1	0	$\sqrt{7}$	0	1	1	1	0	0	0	0
0	1	0	$\sqrt{8}$	0	1	1	1	1	1	1	1
0	1	0	$\sqrt{9}$	0	1	1	1	1	0	1	1
0	1	0	$\sqrt{0}$	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	X	*	*	*	*	*	*	*	*

sifat aktif sisi-positif pada saat masukan CE berlevel 0, sedangkan masukan CE bersifat aktif sisi-negatif pada saat masukan Clk berlevel 1. Pada perancangan alat ini dipilih masukan Clk bersifat aktif sisi-positif pada saat masukan CE berlevel 0. Masukan DE bersifat aktif 0. Masukan ini mengendalikan keadaan ketujuh keluaran untuk LED 7-segment. Jika DE aktif, maka ketujuh keluaran akan berlevel 0. Keluaran IC ini dirancang untuk mengemudikan LED 7-segment katode-bersama. Jika ketujuh keluaran IC ini dihubungkan

langsung dengan LED 7-segmen katode-bersama, maka masukan DE berlevel 0 akan membuat semua LED mati. Masukan asinkron R bersifat aktif 1. Masukan R pada saat aktif akan membuat IC ini reset dan memberikan kombinasi keadaan keluaran a, b, c, d, e, f, dan g yang memperagakan angka desimal nol. Keluaran :10 berlevel 1 pada pencacahan ke-0 sampai dengan ke-4 dan memberikan level 0 pada pencacahan ke-5 sampai dengan ke-9. Keluaran :2 dan EO tidak digunakan dalam perancangan ini. Tabel kebenaran IC CD 4026 ditunjukkan oleh tabel 2.1.

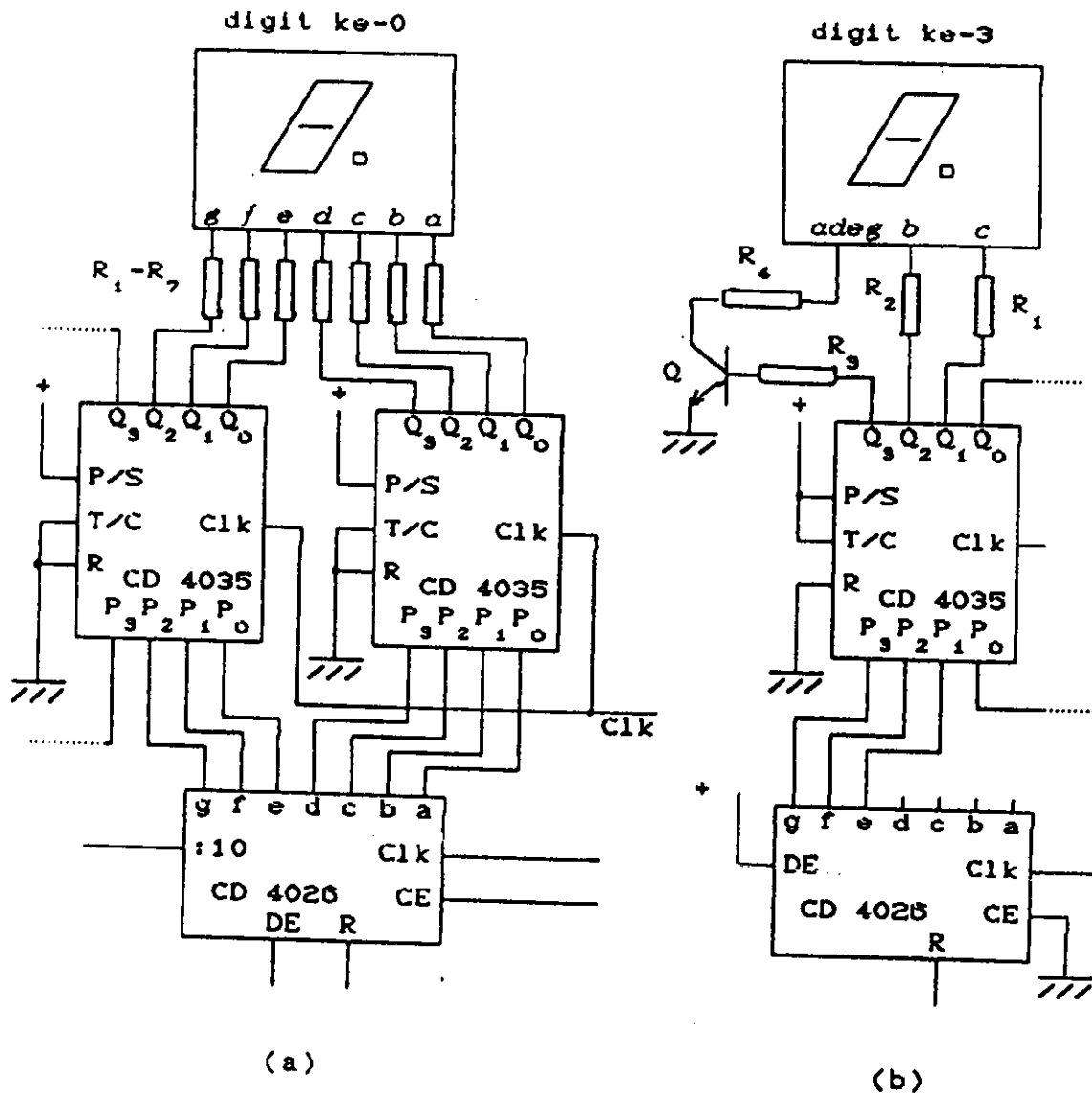
IC CD 4035 memiliki sebuah masukan clock (Clk), sebuah masukan paralel atau seri (P/S), sebuah masukan true atau complement (T/C), sebuah masukan asinkron reset (R), 4 buah masukan paralel P_3 , P_2 , P_1 , dan P_0 , 2 buah masukan seri J dan K, dan 4 buah keluaran paralel Q_3 , Q_2 , Q_1 , dan Q_0 . Masukan P/S adalah pengemudi mode paralel dan seri. Jika masukan P/S diberi level 0, maka IC ini berfungsi untuk memasukkan informasi seri melalui masukan J atau K, sedangkan jika P/S diberi level 1, maka IC ini berfungsi untuk memasukkan informasi paralel melalui masukan paralel. Pada perancangan alat ini masukan P/S diberi level 1, sehingga kedua masukan seri tidak digunakan. Masukan T/C mengemudi-kan keempat buah keluaran paralel. Jika masukan T/C diberi level 1, maka keadaan keempat buah keluaran paralel sama dengan keadaan keempat buah masukan paralel, sedangkan jika T/C diberi level 0, maka keadaan keempat buah keluaran pa-

ralel merupakan komplemen keadaan keempat buah masukan paralel. Masukan Clk bersifat aktif sisi-positif. Pada saat Clk aktif dan P/S diberi level 1, informasi paralel pada keempat buah masukan paralel dialirkan pada keempat buah keluaran paralel secara serentak. Masukan R bersifat aktif 1. Pada saat R aktif, semua keluaran paralel berlevel 0. Pada perancangan alat ini masukan R semua IC ini dibuat pasif dengan cara menghubungkannya ke ground.

IC CD 4011 berisi 4 buah pintu logika Nand yang setiap pintu memiliki 2 buah masukan. Masing-masing pintu logika ini digunakan sebagai komponen rangkaian pengendali cacahan dan inverter.

Fungsi setiap komponen elektronik di dalam rangkaian pencacah-peraga desimal memiliki kaitan yang erat dan sulit dipisah-pisahkan.

Pembahasan berikut menjelaskan cara kerja rangkaian pencacah-peraga desimal satu digit. Rangkaian elektronik pencacah-peraga desimal digit ke-0 terdiri atas sebuah IC CD 4026, 1 3/4 IC CD 4035, sebuah 7-segment anode-bersama, dan 7 buah resistor, seperti ditunjukkan oleh gambar 2.8 (a). Masukan Clk dihubungkan dengan sensor optomekanik dan masukan CE dihubungkan dengan rangkaian pembagi frekuensi melalui rangkaian pengendali cacahan. Masukan R dan DE dalam keadaan pasif diberi level 0 dan dalam keadaan aktif dibuat berlevel 1. Masukan R dan DE masing-masing dikendalikan oleh keluaran pengatur reset dan penghapus peraga

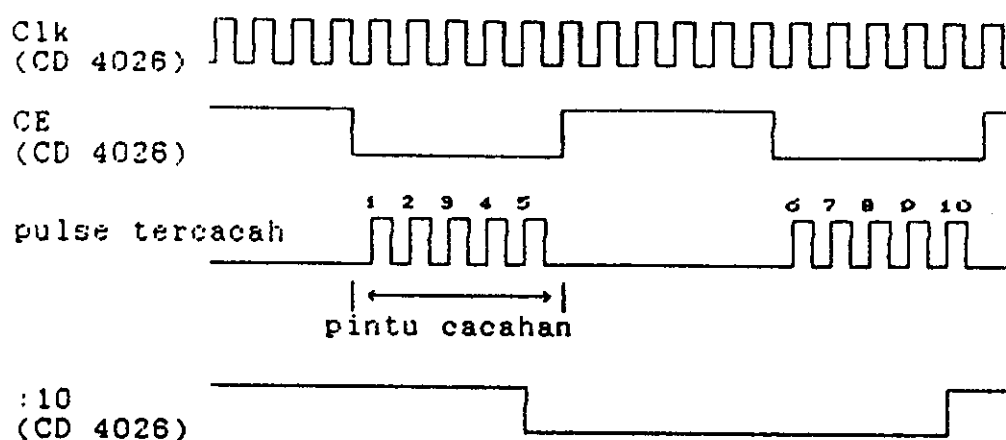


(a)
 (b)
 Gambar 2.8 Rangkaian elektronik pencacah-pembagi desimal
 (a) digit ke-0
 (b) digit ke-3

pada rangkaian pengemudi cacahan. Keluaran :10 dihubungkan masukan Clk IC-4026 berikutnya dan ketujuh buah keluaran a, b, c, d, e, f, dan g dihubungkan dengan LED 7-segment

anode-bersama melalui IC 4035 dan 7 buah resistor. Untuk memperoleh peragaan desimal yang benar, masukan T/C IC CD 4035 diberi level 0 dengan cara menghubungkannya ke ground. Jika LED 7-segment yang digunakan adalah LED 7-segment katode-bersama, maka masukan T/C IC CD 4035 diberi level 1 dengan cara menghubungkannya dengan tegangan positif. Hasil pencacahan yang berada pada masukan-masukan IC CD 4035 dialirkan ke keluaran-keluarannya setelah masukan Clk aktif. Masukan Clk ini dikendalikan oleh keluaran pengatur aliran peraga pada rangkaian pengendali cacahan.

Proses pencacahan rangkaian pencacah-peraga desimal digit ke-0 dilakukan oleh IC CD 4026 seperti pembahasan berikut. Masukan CE pada IC CD 4026 berfungsi sebagai pintu cacahan, sedangkan masukan Clk berfungsi sebagai masukan pulse tegangan listrik yang akan dicacah. Pencacahan akan berlangsung pada saat pintu cacahan terbuka atau masukan CE berlevel 0 dan kedua masukan DE dan R pada IC 4026 dalam keadaan pasif atau DE berlevel 1 dan R berlevel 0. Pada akhir proses pencacahan, hasil pencacahan berada pada ketujuh keluaran a, b, c, d, e, f, dan g. Bentuk komplemen hasil pencacahan akan dialirkan ke LED 7-segment anode-bersama pada saat masukan Clk pada IC 4035 aktif. Proses pencacahan ini ditunjukkan oleh diagram waktu pencacahan yang ditunjukkan oleh gambar 2.10. Diagram waktu pencacahan menunjukkan bahwa pencacahan hanya berlangsung pada saat CE = 0. Keluaran :10 memberikan level 1 pada pencacahan ke-



Gambar 2.10 Diagram waktu proses pencacahan IC 4026 dengan DE = 1 dan R = 0

0 sampai dengan ke-4 dan memberikan level 0 pada pencacahan ke 5 sampai dengan ke-9. Jika keluaran :10 ini disambungkan pada masukan Clk IC 4026 berikutnya, maka pulse-pulse tegangan listrik yang diberikan akan dicacah sebagai pulse masukan. Rangkaian elektronik pencacah-peraga desimal digit ke-0 memperagakan hasil pencacahan desimal satuan yang dalam perancangan alat diperlakukan sebagai digit per seratusan m/s.

Rangkaian elektronik pencacah-peraga desimal digit ke-1 dan ke-2 sama dengan rangkaian pencacah-peraga desimal digit ke-0, tetapi masukan CE pada IC CD 4026 diberi level 0, sehingga pintu pencacahan selalu terbuka dan siap untuk mencacah. Kedua pencacah-peraga desimal ini meneruskan pencacahan yang dicacah oleh pencacah-peraga desimal sebelumnya. Rangkaian elektronik pencacah-peraga desimal digit

ke-1 dan ke-2 masing-masing memperagakan hasil pencacahan desimal puluhan dan ratusan yang dalam perancangan alat diperlakukan sebagai digit per sepuluh m/s dan satuan m/s.

Rangkaian elektronik pencacah-peraga desimal digit ke-3 memperagakan hasil pencacahan desimal ribuan yang dalam perancangan alat diperlakukan sebagai digit puluhan m/s.

Rangkaian elektronik pencacah-peraga desimal digit ke-3 berbeda dengan rangkaian pencacah-peraga desimal digit sebelumnya, sebab rangkaian ini memiliki batasan hanya melakukan pencacahan sampai dengan desimal 2 dan memberikan peragaan yang wajar dengan cara menghapus peragaan desimal 0. Batasan ini tidak dimiliki komponen IC pembentuk rangkaian. Adanya batasan-batasan yang harus dipenuhi untuk rangkaian pencacah-pembagi desimal digit ke-3 mengharuskan perancangan dimulai dari tabel kebenaran IC CD 4026. Tabel 2.2 menunjukkan tabel kebenaran IC CD 4026 sampai dengan pencacahan ke-3. Pencacahan berikutnya tidak diperlukan, sebab hal ini tidak boleh terjadi.

Dengan menggunakan IC CD 4026, CD 4035 dalam kondisi $CE = 0$, dan LED 7-segment anode-bersama seperti pencacah-peraga desimal sebelumnya, penghapusan peragaan desimal 0 memerlukan level 0 untuk keluaran a, b, c, d, e, f, dan g pada IC CD 4026. Cara ini sulit dilakukan. Suatu cara yang dapat dilakukan untuk menghapus peraga desimal 0 adalah mengganti level masukan T/C pada IC CD 4035 menjadi berle-

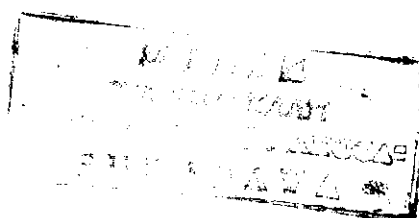
Tabel 2.2 Tabel kebenaran IC CD 4026 sampai dengan pencacahan ke-3

Pencacahan ke-	Keluaran						
	a	b	c	d	e	f	g
0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	1	1	0	0	0	0
2	1	1	0	1	1	0	1
3	1	1	1	1	0	0	1

Tabel 2.3 Tabel kebenaran masukan LED 7-segment anode-bersama dalam perancangan alat

Pencacahan ke-	Masukan LED 7-segment							Bentuk Peraga
	a	b	c	d	e	f	g	
0	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	0	0	1	1	1	1	1
2	0	0	1	0	0	1	0	2
3	0	0	0	0	0	1	0	3

vel 1 yang disertai dengan perubahan rancangan desimal baru. Bentuk tabel kebenaran masukan LED 7-segment anode-bersama yang akan dirancang dapat beraneka ragam bergantung pada selera perancang. Tabel 2.3. merupakan salah satu tabel kebenaran yang akan dirancang dalam keperluan ini. Pada tabel ini tampak bahwa LED 7-segment tidak memperaga-



kan angka pada pencacahan ke-0, memperagakan angka 1 pada pencacahan ke-1, memperagakan angka 2 pada pencacahan ke-2, dan memperagakan huruf a pada pencacahan ke-3. Pencacahan ke-3 merupakan batas atas pencacahan yang nantinya digunakan sebagai masukan rangkaian pengendali cacahan untuk mengunci pencacahan.

Tabel 2.3 memberikan fungsi Boole seperti berikut.

$$a = d = e = g \quad (2-4)$$

$$f = 1 \quad (2-5)$$

Fungsi Boole (2-4) berarti bahwa segmen a , d , e , dan g disambung menjadi satu dan fungsi Boole (2-5) berarti f selalu berlevel 1 atau segmen f selalu mati. Untuk menghemat komponen elektronik, segmen f dibiarkan terbuka.

Dengan membandingkan tabel 2.3 dengan tabel 2.2 diperoleh hubungan Boole berikut.

$$a = d = e = g = c = \bar{g} \quad (2-6)$$

$$b = f \quad (2-7)$$

$$c = d = e \quad (2-8)$$

Dengan menggunakan fungsi-fungsi Boole dapat dirancang rangkaian elektronik pencacah-peraga desimal digit ke-3 yang mengandung sebuah IC CD 4026, 3/4 buah IC CD 4035 dengan CE = 1, sebuah transistor, dan beberapa buah resistor, seperti ditunjukkan oleh gambar 2.9(b). Sisa 1/4 IC CD 4035 digunakan oleh pencacah-peraga desimal digit ke-2.

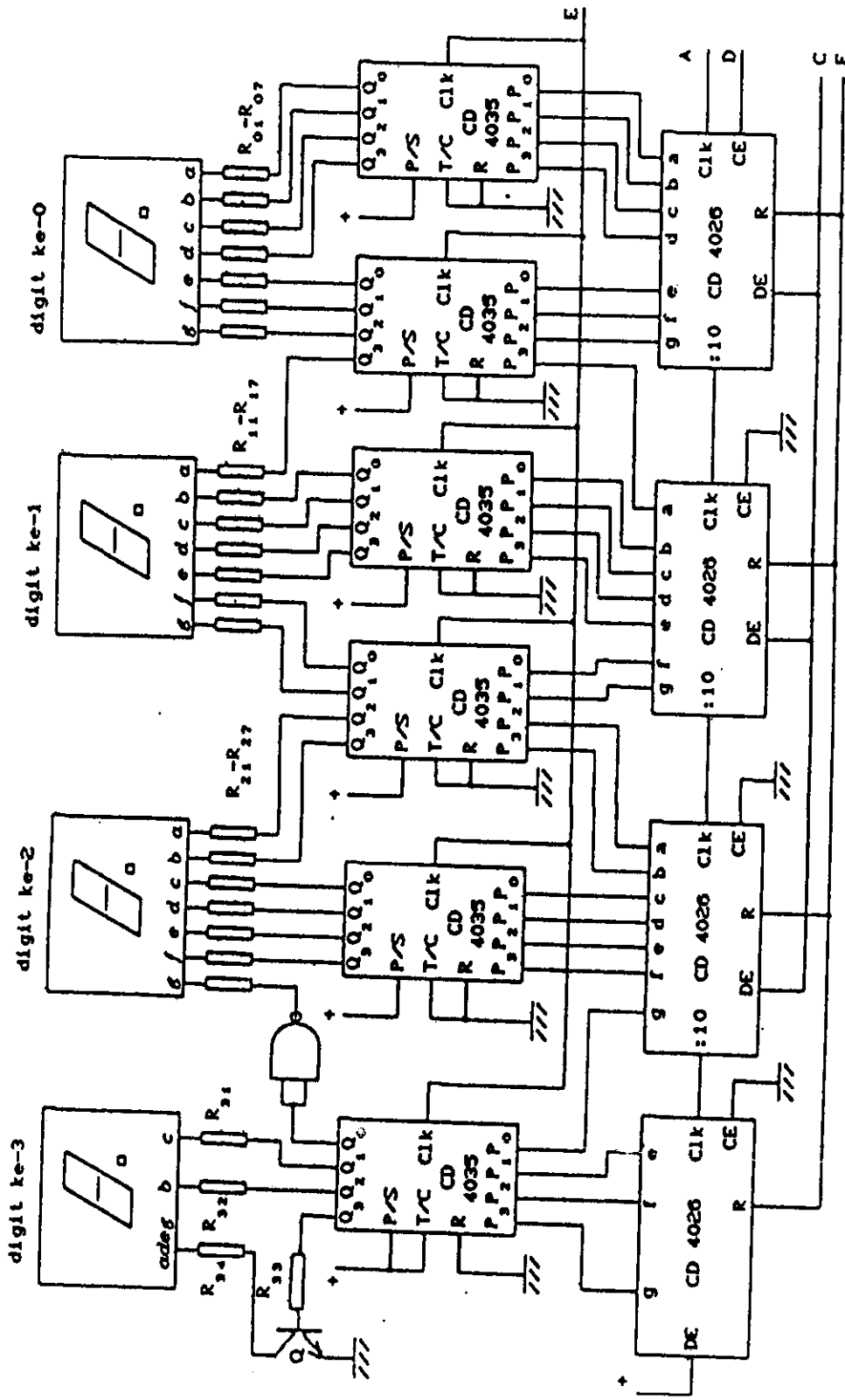
Pada gambar ini tampak bahwa b dihubungkan dengan f , c dihubungkan dengan e , sedangkan a , d , e , dan g dihubungkan dengan g melalui rangkaian penguat transistor. Penguat ini memiliki fungsi ganda, yaitu sebagai inverter atau pintu logika Not dan penguat arus yang mampu mengaliri 4 buah segmen LED a , d , e , dan g .

Batas atas pencacahan dilakukan pada pencacahan ke-3, sehingga pada saat ini pencacahan berhenti. Pengendalian batas atas diatur oleh rangkaian pengendali cacahan dengan memanfaatkan beberapa buah keluaran IC CD 4026 sebagai masukannya.

Pencacah-peraga desimal secara keseluruhan terdiri atas 4 buah IC CD 4026, 6 buah IC CD 4035, 4 buah LED 7-segmen anode-bersama, sebuah pintu logika Nand, beberapa buah resistor, dan sebuah transistor, seperti ditunjukkan oleh gambar 2.11.

Semua masukan Clk IC CD 4035 dihubungkan menjadi satu membentuk masukan Clk-bersama shift register (jalur E), semua masukan R IC CD 4026 dihubungkan menjadi satu membentuk masukan R-bersama (jalur F), masukan DE IC CD 4026 digit ke-0 sampai dengan digit ke-2 dihubungkan menjadi satu membentuk masukan DE-bersama (jalur C), dan masukan DE IC CD 4026 digit ke-3 dibuat pasif dengan pemberian level 1.

Jalur masukan pencacah-peraga desimal terdiri atas 2 macam, yaitu jalur A dan D yang masing-masing berhubungan



Gambar 2.11 Rangkaian elektronik pencacah-peraga desimal

dengan masukan Clk dan CE IC CD 4026 digit ke-0. Masukan T/C pada IC CD 4035 diberi level 0, kecuali IC CD 4035 pada digit ke-3 diberi level 1 sesuai dengan perancangannya. Perbedaan ini akan mempengaruhi jalur d pada digit ke-2 yang menggunakan 1/4 IC CD 4035 digit ke-3. Untuk menghilangkan kesalahan pada jalur d digit ke-2 diberi sebuah pintu logika Nand yang diperlakukan sebagai inverter.

2.2.4 Pengendali cacahan

Rangkaian pengendali cacahan memiliki beberapa buah masukan berasal dari keluaran pencacah-peraga desimal digit ke-3, sebuah masukan berasal dari keluaran pembagi frekuensi (jalur B), dan 4 buah keluaran yang masing-masing berfungsi sebagai penghapus peraga (jalur C), pengunci pencacahan (jalur D), pengatur reset (jalur F), dan pengatur aliran peraga melalui IC CD 4035 (jalur E). Masukan-masukan yang berasal dari keluaran pencacah-peraga desimal digit ke-3 diperlukan untuk mendeteksi batas atas pencacahan. Jalur B diperlukan sebagai pintu cacahan yang akan disuapkan pada jalur D pada saat pencacahan belum mencapai batas atas pencacahan. Penghapusan peraga ($C = 0$) dan penguncian pencacahan ($D = 1$) diberikan tepat pada pencacahan ke-3 digit ke-3 atau pencacahannya mencapai batas atas. Dengan menelaah tabel 2.2, tampak bahwa di antara ketujuh keluaran IC CD 4026 digit ke-3 yang dapat dimanfaatkan sebagai masukan rangkaian pengendali cacahan cukup banyak, misalnya

Tabel 2.4 Tabel kebenaran rangkaian pengendali cacahan

Masukan			Keluaran		Keterangan
B	c	g	C	D	
0	0	0	1	0	D = B
0	0	1	1	0	D = B
0	1	0	1	0	D = B
0	1	1	0	1	D terkunci
1	0	0	1	1	D = B
1	0	1	1	1	D = B
1	1	0	1	1	D = B
1	1	1	0	1	D terkunci

masukan c dan g, masukan a dan e, dan e dan g. Masukan-masukan ini memiliki kombinasi keadaan pada pencacahan ke-3 berbeda dengan keadaan pencacahan yang lain. Dengan memilih masukan c dan g sebagai masukan yang berasal dari digit ke-3, perancangan rangkaian pengendali cacahan dapat dilakukan melalui tabel 2.4.

Fungsi Boole berbentuk product of sum (PS) untuk jalur C adalah

$$C = (B + \bar{c} + \bar{g}) \cdot (\bar{B} + \bar{c} + \bar{g})$$

Fungsi ini dapat disederhanakan dengan menggunakan identitas aljabar Boolean dan diarahkan pada logika Nand seperti berikut.

$$\begin{aligned}
 C &= (\bar{c} + \bar{g}) + (B \cdot \bar{B}) \\
 &= (\bar{c} + \bar{g}) + 0 \\
 &= \bar{c} + \bar{g} \\
 C &= \overline{c \cdot g} \qquad (2-9)
 \end{aligned}$$

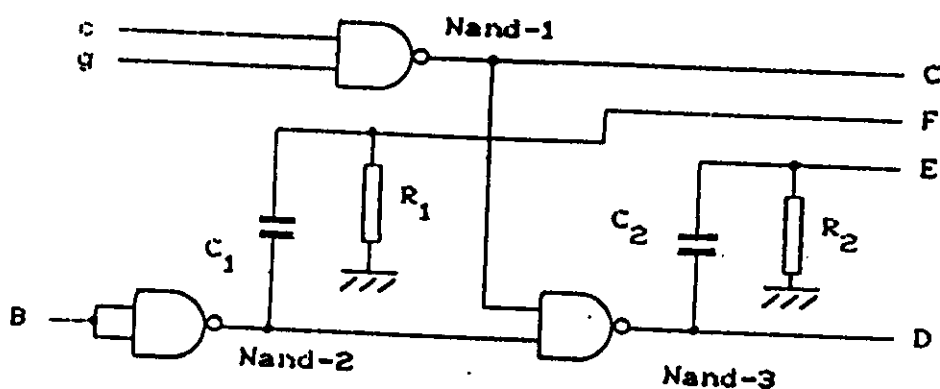
Fungsi Boole untuk jalur D adalah

$$D = (B + c + g) \cdot (B + c + \bar{g}) \cdot (B + \bar{c} + g)$$

Fungsi ini dapat disederhanakan dengan menggunakan identitas aljabar Boolean dan diarahkan pada logika Nand seperti berikut.

$$\begin{aligned}
 D &= (B + c + g) \cdot (B + c + \bar{g}) \cdot (B + \bar{c} + g) \\
 &= (B + c + g) \cdot (B + c + \bar{g}) \cdot (B + \bar{c} + g) \cdot (B + c + g) \\
 &= \{(B + c) + (g \cdot \bar{g})\} \cdot \{(B + g) + (\bar{c} \cdot c)\} \\
 &= (B + c) \cdot (B + g) \\
 &= B + (c \cdot g) \\
 &= \overline{\overline{B + (c \cdot g)}} \\
 &= \overline{\bar{B} \cdot \overline{(c \cdot g)}} \\
 D &= \overline{\bar{B} \cdot C} \qquad (2-10)
 \end{aligned}$$

Berdasar atas fungsi Boole yang diperoleh, rangkaian elektronik pengendali cacahan dapat ditentukan dengan mudah, seperti ditunjukkan oleh gambar 2.12. Penelaahan

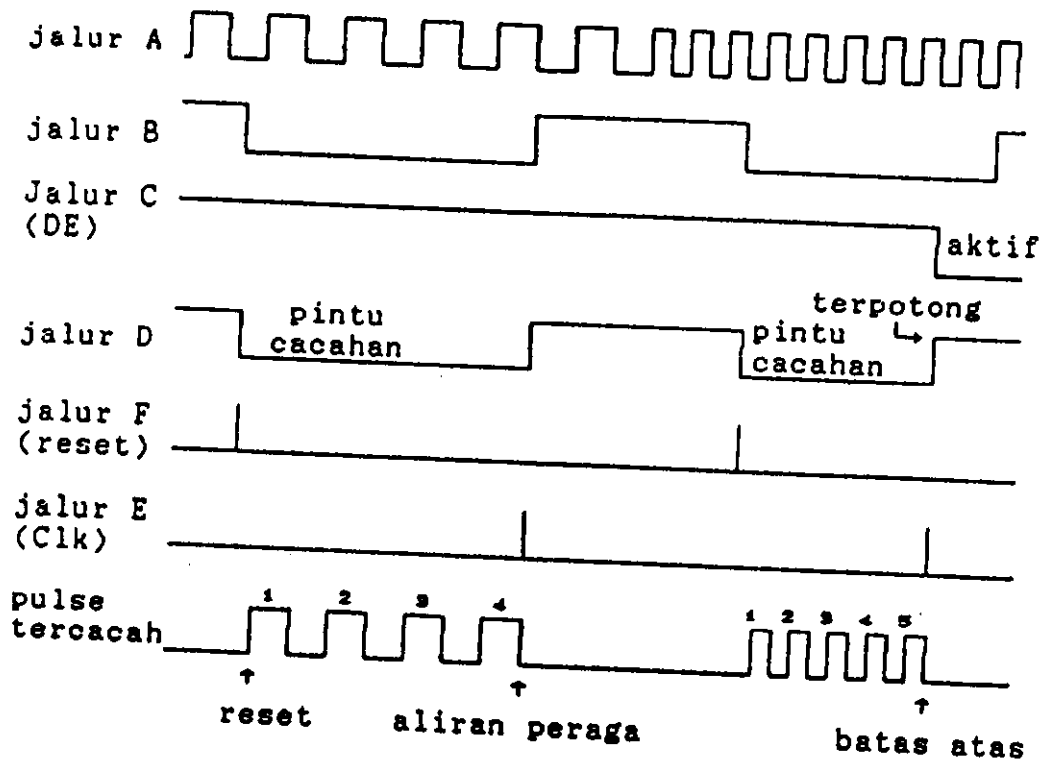


Gambar 2.12. Rangkaian elektronik pengendali cacahan

rangkaian elektronik dan tabel kebenaran rangkaian pengendali cacahan menyatakan bahwa jika batas atas pencacahan dicapai, maka digit ke-0, ke-1, dan ke-2 akan mati dan semua segmen LED digit ke-3 akan menyala kecuali segmen f yang secara keseluruhan membentuk huruf a.

Dua buah rangkaian RC masing-masing digunakan untuk memberikan keluaran pengatur reset dan pengatur aliran peraga. Sebuah pulse keluaran positif yang sempit dan tajam akan diberikan oleh rangkaian RC sesaat setelah masukannya dalam keadaan transisi dari level 0 ke level 1. Rangkaian resistor R_1 dan kapasitor C_1 sebagai pengatur reset, sedangkan resistor R_2 dan kapasitor C_2 sebagai pengatur aliran peraga.

Cara kerja rangkaian pengendali cacahan ini tampak lebih jelas pada diagram waktu pencacahan yang ditunjukkan oleh gambar 2.13.



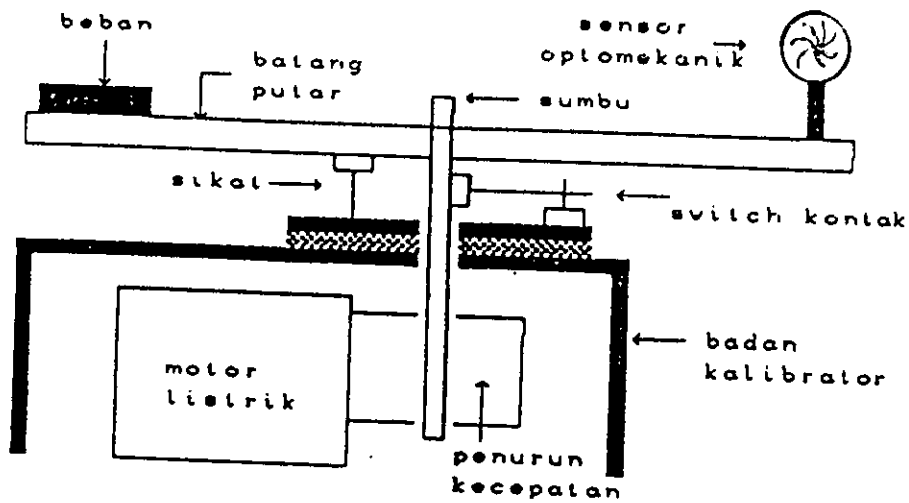
Gambar 2.13 Diagram waktu proses pencacahan dengan permisalan jalur C aktif sebelum pencacahan berakhir.

2.3 Perancangan Kalibrator Kecepatan Angin

Kalibrator kecepatan angin adalah alat yang digunakan untuk mengkalibrasi anemometer elektrodigital.

Kalibrator kecepatan angin dirancang berbentuk batang putar memanjang yang dapat berputar terhadap sumbu putarnya. Lempeng diputar oleh motor listrik melalui penurun putaran. Penampang sejajar batang dan sumbu putar kalibrator kecepatan angin ditunjukkan oleh gambar 2.14.

Pengaturan putaran motor dilakukan dengan mengatur tegangan kerja motor melalui regulator tegangan. Pada batang



Gambar 2.14 Penampang kalibrator kecepatan angin

di dekat sumbu putar terdapat switch kontak yang berfungsi sebagai sensor putaran batang. Pengukuran jumlah putaran batang per satuan waktu dilakukan dengan frekuensi meter yang dihubungkan dengan keluaran switch kontak melalui rangkaian switch anti bouncing yang rangkaian elektroniknya ditunjukkan pada apendiks A.

Jika f_k adalah frekuensi putaran, maka kecepatan linear sensor optomekanik yang terletak pada batang putar dengan jarak R terhadap sumbu putar adalah

$$v_R = 2 \pi R f_k \quad (2-11)$$

Berdekatan dengan switch kontak terdapat sikat konduktor yang berfungsi sebagai kontak listrik antara sensor optomekanik yang berputar badan kalibrator yang diam.

BAB III

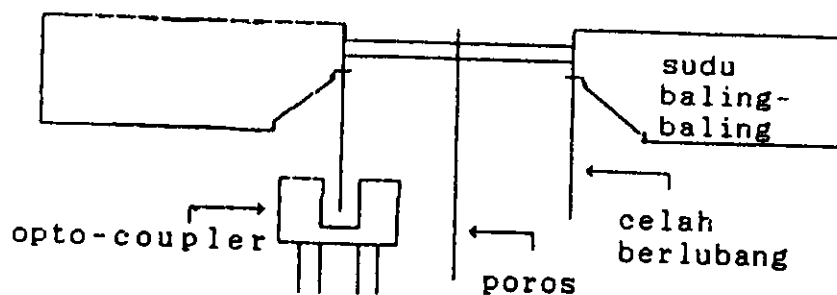
METODE PENELITIAN

3.1 Pewujudan Anemometer Elektrodigital

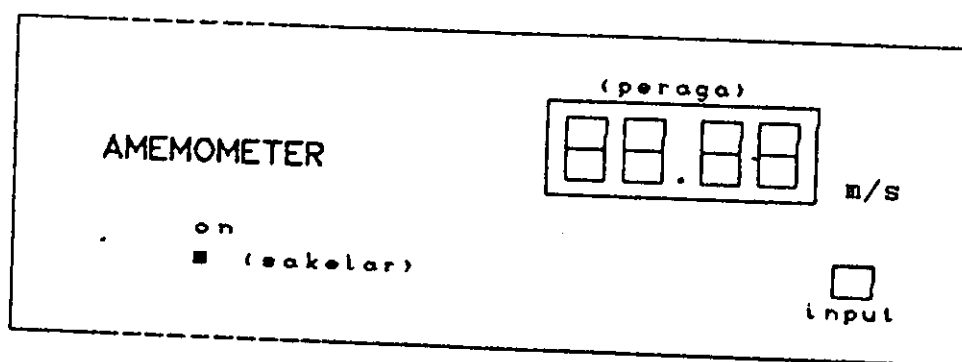
Dalam pewujudan alat ini dijelaskan tahap-tahap pewujudan alat yang meliputi pewujudan sensor optomekanik, rangkaian elektronik alat, tata-letak panel alat, rakitan rangkaian elektronik di atas printed circuit board (PCB), pengawatan, dan pengkotakan alat sampai siap untuk dikalibrasi.

3.1.1 Sensor optomekanik

Sensor optomekanik diwujudkan sesuai dengan perancangannya. Sensor ini dilengkapi dengan tangkai yang berfungsi sebagai pegangan. Diameter luar sensor adalah 9 cm, tebal sebesar 5 cm, dan panjang tangkai sekitar 15 cm. Di dalam sensor terdapat baling-baling dengan diameter sebesar 7 cm dengan 8 buah sudu dan 11 buah celah lempeng penghalang yang berbentuk lingkaran. Opto-coupler yang digunakan memiliki tipe EE-SX 112 OMRON yang mengeluarkan infra merah. Opto-coupler diletakkan pada bagian tengah di sekitar poros dan dihubungkan dengan 3 buah kabel ke luar sensor. Penampang sejajar poros sensor optomekanik tanpa tangkai ditunjukkan oleh gambar 3.1. Rangkaian elektronik opto-coupler sama dengan gambar 2.1(b) dengan R_1 dan R_2 masing-masing sebesar 1,5 k Ω dan 15 k Ω .



Gambar 3.1 Penampang sejajar poros sensor optomekanik



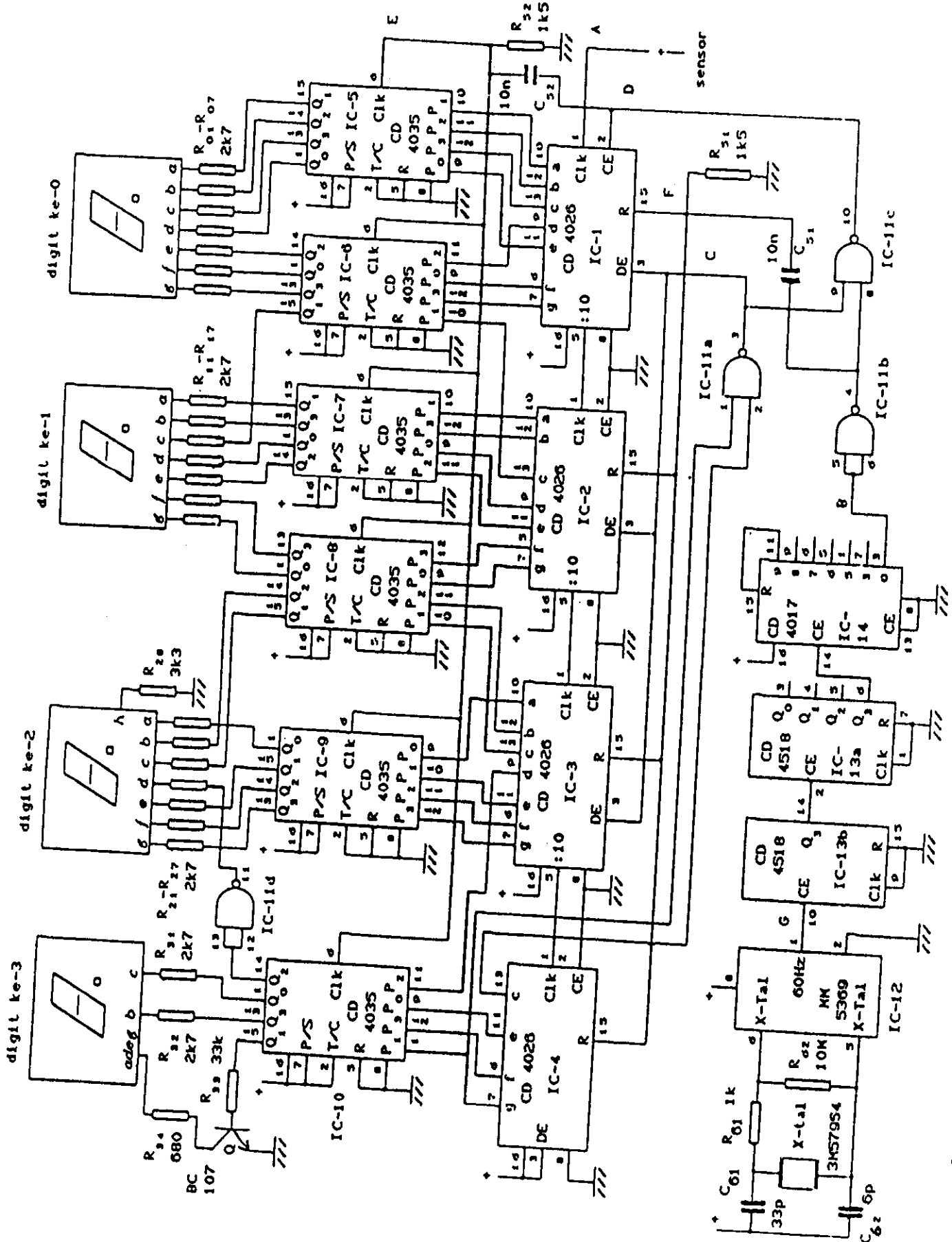
Gambar 3.2 Tata-letak panel alat

3.1.2 Tata-letak panel alat

Perancangan tata-letak panel alat merupakan perancangan awal alat yang berkaitan dengan pengaturan letak socket sensor, sakelar, peraga desimal, dan satuan kecepatan yang digunakan di atas panel atas alat. Tata-letak panel alat ditunjukkan oleh gambar 3.2.

3.1.3 Rangkaian elektronik anemometer elektrodigital

Rangkaian elektronik anemometer elektrodigital merupa-



Gambar 3.3 Rangkaian elektronik anemometer elektrodigital

kan gabungan rangkaian elektronik dalam perancangan alat disertai dengan nilai-nilai komponen-komponennya. Rangkaian elektronik anemometer elektrodigital secara lengkap ditunjukkan oleh gambar 3.3.

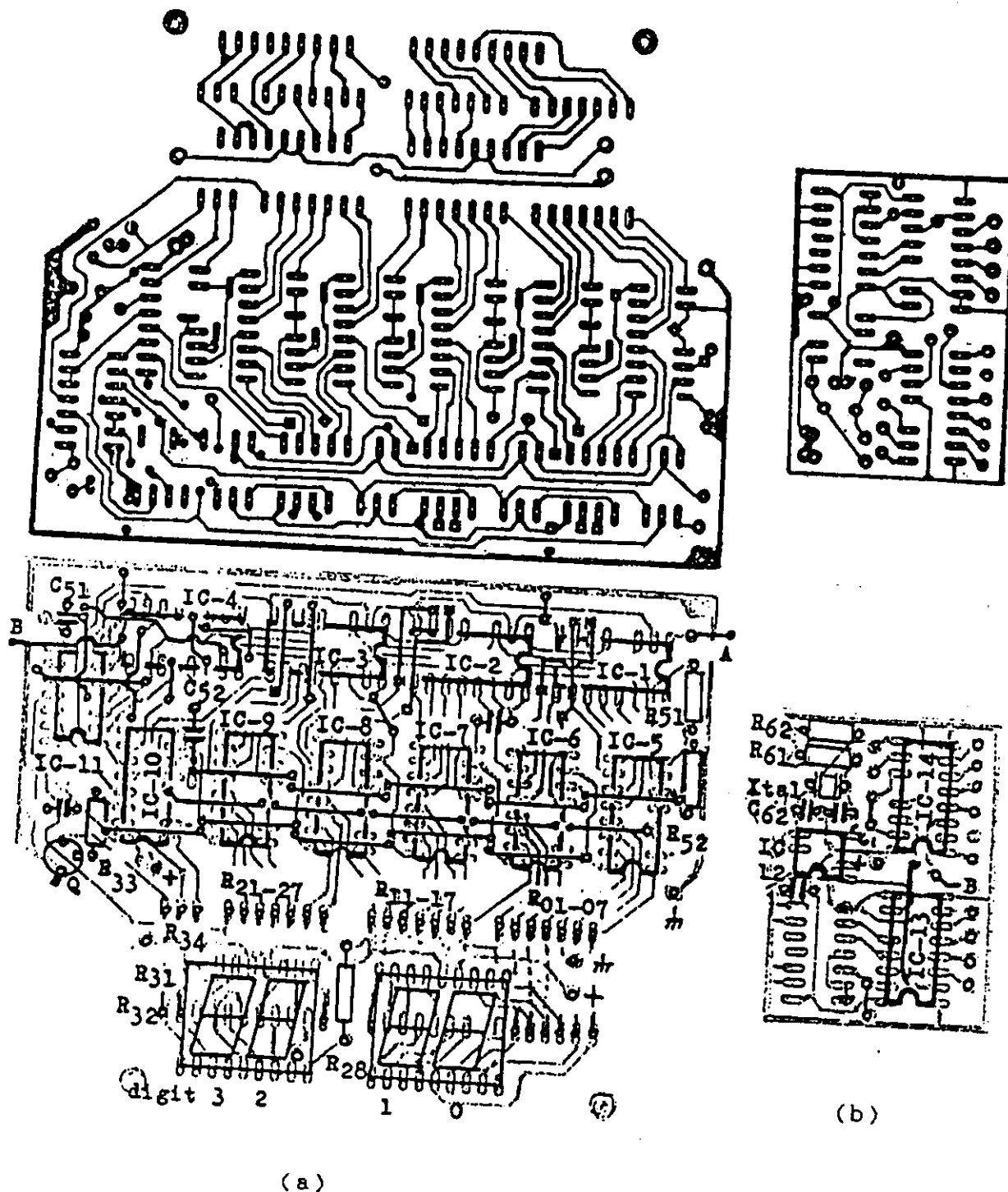
3.1.4 Rakitan rangkaian elektronik alat

Komponen-komponen elektronik rangkaian alat dirakit di atas PCB dengan tata-letak komponen-komponen elektronik teratur sesuai dengan tata-letak panel alat. Tatajalur rangkaian elektronik dirancang rapi sehingga tidak terdapat jalur yang tidak bermanfaat. Tata-letak komponen dan tata jalur rangkaian elektronik ditunjukkan oleh gambar 3.4. Tata-jalur dan tata-letak komponen I mengandung rangkaian osilator kristal, pembagi frekuensi, sedangkan tata-jalur dan tata-letak komponen II mengandung rangkaian pencacah-peraga desimal dan rangkaian pengendali cacahan.

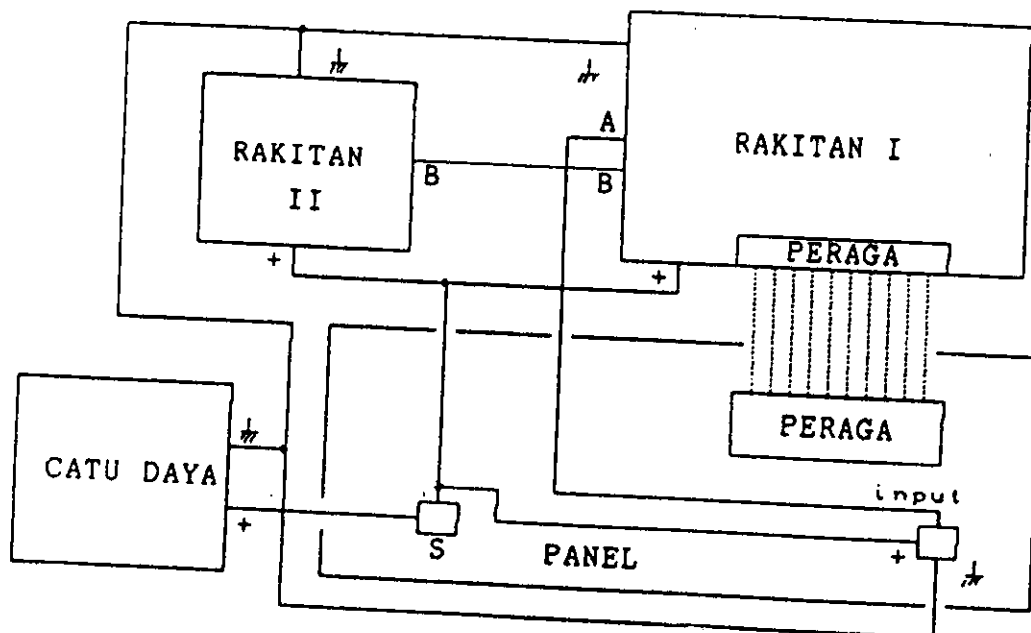
3.1.5 Pengawatan dan pengkotakan alat

Pembahasan pengawatan meliputi penyambungan rakitan elektronik sesamanya, rakitan elektronik dengan panel alat, catu daya dengan rakitan elektronik, catu daya dengan panel alat, dan sensor optomekanik dengan panel alat.

Bagan pengawatannya ditunjukkan oleh gambar 3.5. Dalam bagan pengawatan ini terdapat terdapat 2 buah rakitan yaitu rakitan I yang merupakan pewujudan tata-jalur dan tata-letak osilator kristal dan pembagi frekuensi dan rakitan II



Gambar 3.4 (a) Tata-jalur dan tata-letak komponen I
 (b) Tata-jalur dan tata-letak komponen II



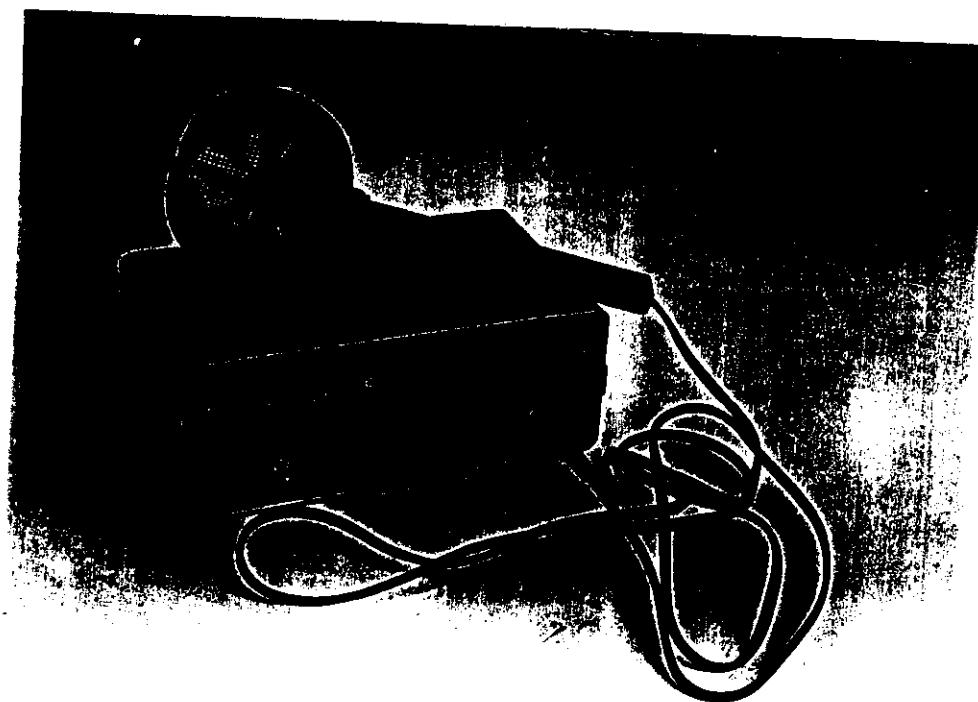
Gambar 3.5 Bagan pengawatan anemometer elektrodigital yang merupakan pewujudan tata-jalur dan tata-letak pencah-peraga desimal dan pengendali cacahan.

Catu daya yang digunakan adalah 6 buah baterai kering tipe UM-1-UE yang memberikan tegangan keluaran sebesar 9 volt. Penggunaan baterai dalam peralatan ini membuat alat ini bersifat portable.

Rakitan rangkaian elektronik dan komponen-komponen lain dikemas dalam kotak aluminium. Foto alat siap pakai ditunjukkan oleh gambar 3.6.

3.2 Pewujudan Kalibrator

Kalibrator diwujudkan sesuai dengan perancangannya. Batang putarkalibrator dibuat dari bahan kayu dan sumbu



Gambar 3.6 Foto anemometer elektrodigital



Gambar 3.7 Foto kalibrator

putar dibuat dari bahan besi yang cukup kuat untuk menahan momen perputaran yang terjadi. Panjang batang putar adalah 190 cm dengan sumbu putar pada bagian tengahnya. Sensor optomekanik dapat digeser-geser di atas batang putar dengan jarak maksimum sebesar 100 cm terhadap sumbu putar kalibrator. Motor listrik yang digunakan untuk memutar batang putar berdaya listrik 50 watt. Foto kalibrator dengan sensor optomekanik ditunjukkan oleh gambar 3.7.

Jika frekuensi putaran lempeng adalah f_k , maka kecepatan linier sensor optomekanik adalah

$$v_s = 2 \pi R f_k$$

$$v_s = \frac{2 \pi R}{T_k} \quad (3.1)$$

dengan R adalah jarak sensor optomekanik terhadap sumbu putar dan T_k adalah periode putaran. Pengukuran frekuensi atau periode putaran dilakukan dengan menggunakan frekuensi-sineter digital.

3.3 Kalibrasi Alat

Kalibrasi alat dilakukan untuk menyesuaikan angka desimal yang ditampilkan oleh peraga desimal alat dengan kecepatan linier sensor optomekanik pada kalibrator.

Bagian yang memerlukan pengaturan dalam kalibrasi adalah sudut sudu baling-baling sensor optomekanik, jumlah celah lempeng penghalang dalam sensor optomekanik, atau faktor pembagi pada rangkaian elektronik pembagi frekuensi.

Pengubahan faktor pembagi pada rangkaian elektronik pembagi frekuensi merupakan kalibrasi diskrit, sedangkan perubahan sudut sudu baling-baling merupakan kalibrasi kontinu.

Kalibrasi alat dilakukan untuk sebuah nilai kecepatan, yaitu 6,28318 m/s yang dihasilkan oleh frekuensi putaran sebesar 1,000 Hz atau periode putaran sebesar 1,000 s untuk jarak sensor optomekanik sebesar 100 cm terhadap sumbu putar. Kalibrasi alat ditunjukkan pada apendiks B. Kalibrasi diskrit awal tidak memberikan hasil yang diharapkan sebab terjadi peragaan overflow. Analisis data pengamatan kalibrasi diskrit lanjutan menghasilkan pilihan lebar pintu cacahan tertentu dengan cara menyambungkan masukan CE IC-14 dengan keluaran Q_3 IC-13b tanpa melalui IC-13(a). Kalibrasi kontinu yang merupakan kalibrasi akhir dilakukan dengan memperkecil sudut normal sudu baling-baling terhadap sumbu putar baling-baling sampai menghasilkan peragaan sesuai dengan kalibrator.

Hipotesis kalibrasi alat adalah

H_0 - Tidak ada perbedaan antara hasil kalibrasi anemometer elektrodigital dengan $\mu = 6,28318$.

H_1 - Ada perbedaan antara hasil kalibrasi anemometer elektrodigital dengan $\mu = 6,28318$.

Analisis data dengan uji t menghasilkan $t_{hit} > -t_{0,95(9)}$ dengan $\alpha=0,05$, sehingga H_0 diterima.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Alat

Pengujian alat meliputi pengukuran kecepatan linier sensor optomekanik yang ditunjukkan oleh anemometer elektrodigital dan membandingkannya dengan kecepatan linier yang diberikan oleh kalibrator.

Data pengamatan anemometer elektrodigital berupa kecepatan sensor optomekanik, sedangkan data pengamatan kalibrator berupa frekuensi atau periode putaran. Data pengujian alat dirangkum dalam tabel 4.1. Pemisahan penulisan data menjadi kelompok data didasarkan atas keterbatasan pengukuran frekuensi atau periode putaran kalibrator dan pemilihan posisi sensor opto mekanik di atas batang putar.

4.2 Analisis Data Percobaan

Tabel 4.2 menunjukkan perubahan frekuensi atau periode putaran kalibrator menjadi kecepatan sensor optomekanik yang tertera dalam tabel 4.1 dengan disertai perubahan satuan kecepatan menjadi cm/s.

Data pengamatan dibagi menjadi 3 kelompok sesuai dengan ketiga perlakuan yang berbeda, seperti ditunjukkan oleh tabel 4.2. Ketiga kelompok data dapat dijadikan 2 kelompok data berdasar atas jarak antara sensor optomekanik dan sumbu putar kalibrator

Tabel 4.1 Data pengukuran kecepatan linier

R = 50 cm		R = 100 cm	
Periode Kalibrator (s)	Peraga Alat (m/s)	Periode Kalibrator (s)	Peraga Alat (m/s)
5,00	0,60	3,20	2,00
4,00	0,76	3,00	2,11
3,50	0,91	2,80	2,26
3,00	1,01	2,60	2,44
2,50	1,23	2,40	2,60
2,30	1,37	2,20	2,83
2,20	1,40	2,00	3,20
2,00	1,59	1,80	3,52
1,90	1,64	1,80	4,02
1,80	1,69	1,40	4,51
1,70	1,85	1,20	5,73

R = 100 cm			
Frekuensi Kalibrator (1/s)	Peraga Alat (m/s)	Frekuensi Kalibrator (1/s)	Peraga Alat (m/s)
1,00	6,26	1,80	11,35
1,20	7,76	2,00	12,71
1,40	8,84	2,20	14,07
1,60	10,23	2,40	15,48

Tabel 4.2 Tabel perubahan frekuensi atau periode kalibrator menjadi kecepatan

T = periode kalibrator (s), f = frekuensi kalibrator (1/s)
 X = kecepatan kalibrator (cm/s), dan Y = peraga alat (cm/s)

Kelompok 1 (R=50 cm)				Kelompok 2 (R=100 cm)			
n	T	X	Y	n	T	X	Y
1	5,00	63	60	1	3,20	196	200
2	4,00	78	76	2	3,00	209	211
3	3,50	90	91	3	2,80	224	226
4	3,00	105	101	4	2,60	242	244
5	2,50	126	123	5	2,40	262	260
6	2,30	137	137	6	2,20	286	283
7	2,20	143	140	7	2,00	314	320
8	2,00	157	158	8	1,80	349	352
9	1,90	165	164	9	1,60	393	402
10	1,80	174	169	10	1,40	449	451
11	1,70	185	185	11	1,20	571	573

Kelompok 3 (R=100 cm)			
n	f	X	Y
1	1,00	628	626
2	1,20	754	776
3	1,40	880	884
4	1,60	1005	1023
5	1,80	1131	1135
6	2,00	1257	1271
7	2,20	1382	1407
8	2,40	1509	1548

Analisis data percobaan dilakukan uji korelasi regresi, uji banding, dan uji anakova. Analisis data ditunjukkan dalam apendiks C.

Hipotesis untuk uji korelasi regresi meliputi hipotesis kebergantungan (β_1) dan hipotesis asal garis regresi (β_0) untuk 5 kelompok data.

Hipotesis kebergantungan adalah

H_0 : Tidak ada kebergantungan hasil pengukuran anemometer elektrodigital dengan kalibrator ($\beta_1 = 0$).

H_1 : Ada kebergantungan hasil pengukuran anemometer elektrodigital dengan kalibrator ($\beta_1 \neq 0$).

Hasil analisis untuk 5 kelompok data adalah H_0 ditolak.

Hipotesis asal garis regresi adalah

H_0 : Garis regresi melalui titik asal ($\beta_0 = 0$).

H_1 : Garis regresi tidak melalui titik asal ($\beta_0 \neq 0$).

Hasil analisis untuk 5 kelompok data adalah H_0 diterima.

Hipotesis untuk uji banding adalah

H_0 : Tidak ada perbedaan hasil pengukuran anemometer anemometer elektrodigital dengan kalibrator.

H_1 : Ada perbedaan hasil pengukuran anemometer elektrodigital dengan kalibrator.

Hasil analisis untuk 5 kelompok data adalah H_0 diterima.

Hipotesis untuk uji anakova antar kelompok adalah

H_0 : Tidak ada perbedaan antar kelompok data.

H_1 : Ada perbedaan antar kelompok data.

Hasil analisis adalah H_0 diterima.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Penggunaan sensor optomekanik sebagai sensor kecepatan angin pada anemometer elektrodigital memberikan kepekaan alat yang memadai.
2. Anemometer elektrodigital yang bekerja secara elektronik digital dengan sumber pewaktu berupa osilator kristal menjadikan alat memiliki kepresisian yang tinggi.
3. Penggunaan IC CMOS sebagai komponen utama pembentuk anemometer elektrodigital menjamin alat berdaya rendah.
4. Peraga alat dalam bentuk angka desimal memudahkan penakai membaca hasil pengukuran.
5. Adanya kesejajaran isometrik antara hasil pengukuran kecepatan angin yang diperagakan oleh anemometer elektrodigital dan kecepatan kalibrator berarti alat memiliki keakurasian yang memadai.

5.2 Saran

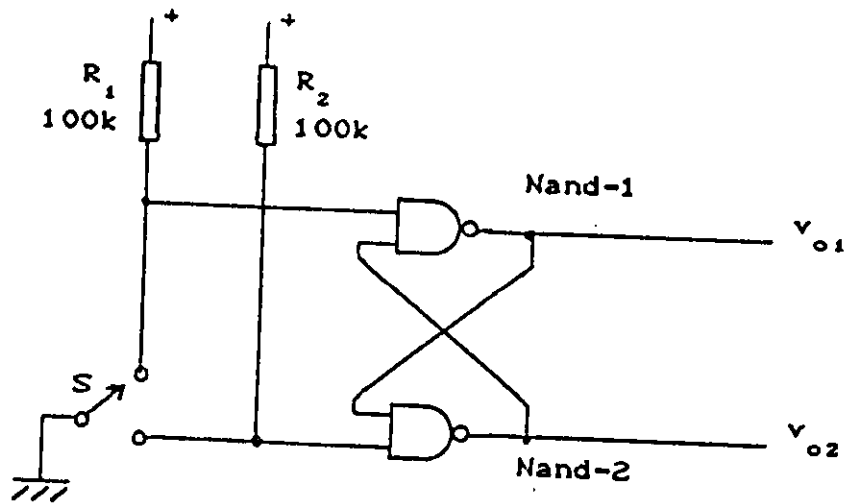
Penyempurnaan alat dapat dilakukan melalui perancangan sensor yang peka terhadap kecepatan angin. Perancangan kalibrator kecepatan angin yang tinggi sekali juga membantu dalam penyempurnaan perancangan alat.

DAFTAR PUSTAKA

- Alocca, J.A.- Stuart, A. (1984). Transducers Theory and Applications. Reston Publishing Company. A practice-Hall Company. Reston Virginia.
- Doebelin, E. O. (1986). Measurement Systems Application and Design. International Student Edition. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. Tokyo - Sydney.
- Jain, E.R.K. (1983). Mechanical and Industrial Measurements. Khanna Publishers. Fifth Revised and Enlarged Edition. Delhi.
- Lancaster, Don (1976). CMOS Cookbook. H.W. Sams & Co. Inc. The Bobbs - Merrill Co. Inc. Indianapolis - Kansas City New York.
- Marcus (1980). Modern Electronics Circuits Reference Manual. McGraw-Hill. Book Company. New York -Toronto.
- Millman, J. - Halkias, C.C. (1972). Integrated Electronics: Analog And Digital Circuits And Systems. MCGRAW-HILL Kogakusha Ltd. International Student Edition. Tokyo - Sydney.
- Seippel, R.G. (1983). Transducers, Sensors, and Detectors. Reston Publishing Company, Inc. A Practice-Hall Company. Reston Virginia.

- Stout, D. F. - Kaufman , M. (1980). Handbook of Micro-circuit Design And Application. Mc-GRAW-HILL Book Company. New York - Toronto.
- — (1971). CMOS Data Book, National Semiconductor Corporation. Santa Clara - California.
- — (1983). 301 Circuit. Practical Electronics Circuits for The Home Constructor. Elector Publishers Ltd. Canterbury. Netherlands.

APENDIKS

A. Rangkaian Elektronik Sakelar Anti Bouncing

B. Kalibrasi Alat

Frekuensi putaran kalibrator adalah 1,000 Hz dan jarak sensor optomekanik terhadap sumbu putar adalah 100 cm, sehingga kecepatan linier sensor optomekanik adalah 628,318 cm/s atau 6,28318 m/s.

Keadaan awal rangkaian rangkaian pembagi frekuensi seperti dalam gambar 3.3. Faktor pembagi frekuensi yang diberikan adalah $16 \times 16 \times 9 = 2304$.

Kalibrasi diskrit awal tidak memberikan hasil yang berarti, sebab peraga desimal mengalami overflow. Ini berarti peragaan kecepatan melebihi 29,99 m/s.

Kalibrasi diskrit lanjutan dilakukan dengan menurunkan faktor pembagi rangkaian pembagi frekuensi yaitu dengan menyambungkan keluaran Q_1 IC-13a dengan masukan CE IC-14, sehingga faktor pembaginya menjadi $16 \times 4 \times 9 = 576$. Data kalibrasi diskrit lanjutan ditunjukkan oleh tabel berikut, dengan X = peragaan alat.

n	X
1	28.26
2	27.64
3	27.33
4	27.52
5	28.01
6	27.28
7	28.16
8	27.32
9	27.98
10	28.3

X = 27.78

Pengukuran rata-rata adalah 27,78 m/s. Hasil ini lebih besar daripada nilai sebenarnya yang diberikan kalibrator dengan faktor $27,78/6,28318 = 4,42$.

Kalibrasi diskrit akhir dilakukan dengan memperkecil lebar pintu cacahan menjadi 1/4 kali dengan cara menyambungkan langsung keluaran Q_3 IC-13b dengan masukan CE IC-14 tanpa melalui IC-13a dan dilanjutkan dengan kalibrasi kontinu dengan mengatur sudut normal sudu baling-baling. Hasil kalibrasi akhir ditunjukkan oleh tabel berikut.

	1	2
0	X	X
1	6.31	39.81
2	5.99	35.88
3	6.27	39.31
4	6.25	39.06
5	6.32	39.94
6	6.26	39.18
7	6.19	38.31
8	6.29	39.56
9	6.26	39.18
10	6.28	39.43
	62.42	389.7

$s = 0.095545$
 $t = -1.36294$

C. ANALISIS DATA PENGUJIAN ALAT

- THE FOLLOWING RESULTS ARE FOR: KEL = 1.000

DEP VAR: ANEMO N: 11 MULTIPLE R: 0.998 SQUARED MULTIPLE R: 0.996
ADJUSTED SQUARED MULTIPLE R: .996 STANDARD ERROR OF ESTIMATE: 2.714

VARIABLE	COEFFICIENT	STD ERROR	STD COEF	TOLERANCE	T	P(2 TAIL)
CONSTANT	-0.035	2.798	0.000	.	-0.012	0.990
KALIB	0.991	0.021	0.998	.100E+01	47.756	0.000

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
REGRESSION	16795.900	1	16795.900	2280.608	0.000
RESIDUAL	66.282	9	7.365		

- THE FOLLOWING RESULTS ARE FOR: KEL = 2.000

DEP VAR: ANEMO N: 11 MULTIPLE R: 1.000 SQUARED MULTIPLE R: 0.999
ADJUSTED SQUARED MULTIPLE R: .999 STANDARD ERROR OF ESTIMATE: 3.420

VARIABLE	COEFFICIENT	STD ERROR	STD COEF	TOLERANCE	T	P(2 TAIL)
CONSTANT	0.831	3.149	0.000	.	0.264	0.798
KALIB	1.005	0.009	1.000	.100E+01	107.316	0.000

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
REGRESSION	134674.392	1	134674.392	11516.681	0.000
RESIDUAL	105.245	9	11.694		

- THE FOLLOWING RESULTS ARE FOR: KEL = 3.000

DEP VAR: ANEMO N: 8 MULTIPLE R: 1.000 SQUARED MULTIPLE R: 0.999
ADJUSTED SQUARED MULTIPLE R: .999 STANDARD ERROR OF ESTIMATE: 10.502

VARIABLE	COEFFICIENT	STD ERROR	STD COEF	TOLERANCE	T	P(2 TAIL)
CONSTANT	-16.666	14.256	0.000	.	-1.169	0.287
KALIB	1.030	0.013	1.000	.100E+01	79.946	0.000

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
REGRESSION	704881.780	1	704881.780	6391.362	0.000
RESIDUAL	661.720	6	110.287		

- THE FOLLOWING RESULTS ARE FOR: JARAK = 50.000

DEP VAR: ANEMO N: 11 MULTIPLE R: 0.998 SQUARED MULTIPLE R: 0.996
 ADJUSTED SQUARED MULTIPLE R: .996 STANDARD ERROR OF ESTIMATE: 2.714

VARIABLE	COEFFICIENT	STD ERROR	STD COEF	TOLERANCE	T	P(2 TAIL)
CONSTANT	-0.035	2.798	0.000			
KALIB	0.991	0.021	0.998	.100E+01	-0.012	0.990
					47.756	0.000

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
REGRESSION	16795.900	1	16795.900	2280.608	0.000
RESIDUAL	66.282	9	7.365		

- THE FOLLOWING RESULTS ARE FOR: JARAK = 100.000

DEP VAR: ANEMO N: 19 MULTIPLE R: 1.000 SQUARED MULTIPLE R: 1.000
 ADJUSTED SQUARED MULTIPLE R: 1.000 STANDARD ERROR OF ESTIMATE: 7.199

VARIABLE	COEFFICIENT	STD ERROR	STD COEF	TOLERANCE	T	P(2 TAIL)
CONSTANT	-4.337	2.973	0.000			
KALIB	1.019	0.004	1.000	.100E+01	-1.459	0.163
					261.350	0.000

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
REGRESSION	3539821.089	1	3539821.089	66304.002	0.000
RESIDUAL	881.017	17	51.825		

- THE FOLLOWING RESULTS ARE FOR: KEL = 1.000

PAIRED SAMPLES T-TEST ON KALIB VS ANEMO WITH 11 CASES
 MEAN DIFFERENCE = 1.182
 SD DIFFERENCE = 2.601
 T = 1.507 DF = 10 PROB = 0.163

THE FOLLOWING RESULTS ARE FOR: KEL = 2.000

PAIRED SAMPLES T-TEST ON KALIB VS ANEMO WITH 11 CASES
 MEAN DIFFERENCE = -2.455
 SD DIFFERENCE = 3.297
 T = -2.469 DF = 10 PROB = 0.033

- THE FOLLOWING RESULTS ARE FOR: KEL = 3.000

PAIRED SAMPLES T-TEST ON KALIB VS ANEMO WITH 8 CASES
 MEAN DIFFERENCE = -15.500
 SD DIFFERENCE = 13.438
 T = -3.263 DF = 7 PROB = 0.014

- THE FOLLOWING RESULTS ARE FOR: JARAK = 50.000
 PAIRED SAMPLES T-TEST ON KALIB VS ANEMO WITH 11 CASES

MEAN DIFFERENCE = 1.182
 SD DIFFERENCE = 2.601
 T = 1.507 DF = 10 PROB = 0.163

- THE FOLLOWING RESULTS ARE FOR: JARAK = 100.000
 PAIRED SAMPLES T-TEST ON KALIB VS ANEMO WITH 19 CASES

MEAN DIFFERENCE = -7.947
 SD DIFFERENCE = 10.957
 T = -3.162 DF = 18 PROB = 0.005

- ANAKOVA ANTAR KELOMPOK

LEVELS ENCOUNTERED DURING PROCESSING ARE:

KEL 1.000 2.000 3.000
 DEP VAR: ANEMO N: 30 MULTIPLE R: 1.000 SQUARED MULTIPLE R: 1.000

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
KALIB	856262.370	1	856262.370	24121.423	0.000
KEL	39.531	2	19.765	0.557	0.580
ERROR	922.948	26	35.498		

ADJUSTED LEAST SQUARES MEANS.

KEL	MEAN	SD	(N)
1.000	455.509	41.064	11
2.000	454.387	116.095	11
3.000	448.518	317.477	8

COL/ ROW	KEL
1	1.000
2	2.000
3	3.000

MATRIX OF PAIRWISE MEAN DIFFERENCES:

	1	2	3
1	0.000		
2	-1.122	0.000	
3	-6.991	-5.869	0.000

SCHEFFE TEST.

MATRIX OF PAIRWISE COMPARISON PROBABILITIES:

	1	2	3
1	1.000		
2	0.925	1.000	
3	0.595	0.592	1.000

LEVELS ENCOUNTERED DURING PROCESSING ARE:

JARAK 50.000 100.000

DEP VAR: ANEMO N: 30 MULTIPLE R: 1.000 SQUARED MULTIPLE R: 1.000

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
KALIB	3556603.378	1	3556603.378	99934.842	0.000
JARAK	1.570	1	1.570	0.044	0.835
ERROR	960.909	27	35.589		

ADJUSTED LEAST SQUARES MEANS.

JARAK	MEAN	SD	(N)
JARAK = 50.000	453.604	41.064	11
JARAK = 100.000	453.019	443.515	19

COL/ ROW	JARAK
1	50.000
2	100.000

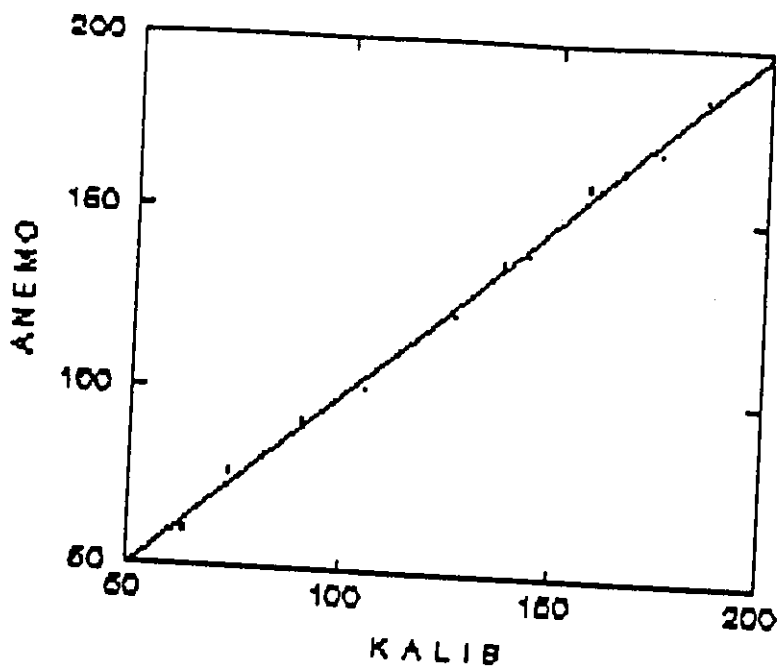
MATRIX OF PAIRWISE MEAN DIFFERENCES:

	1	2
1	0.000	
2	-0.585	0.000

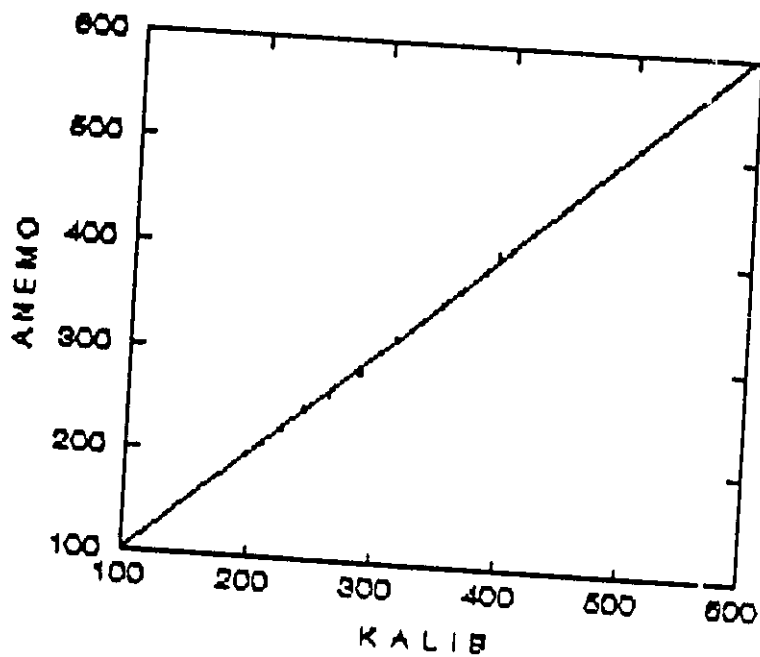
SCHEFFE TEST.

MATRIX OF PAIRWISE COMPARISON PROBABILITIES:

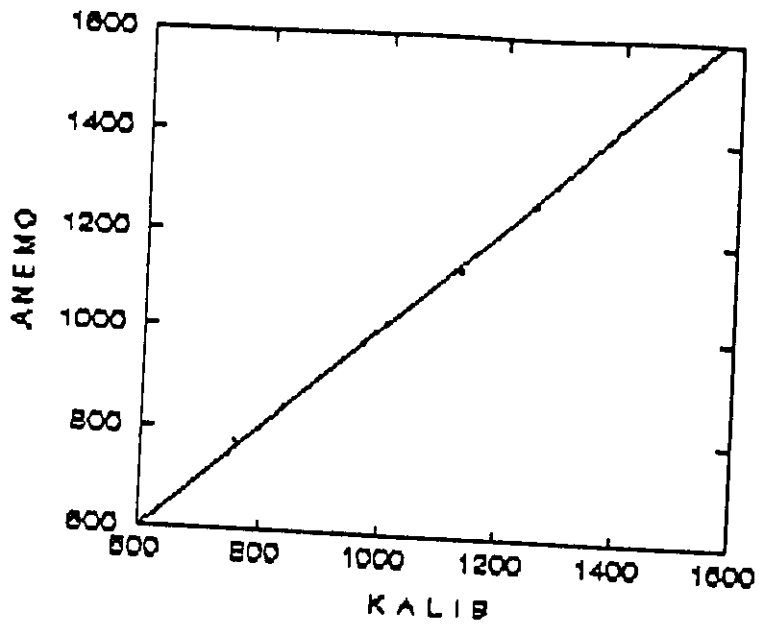
	1	2
1	1.000	
2	0.835	1.000



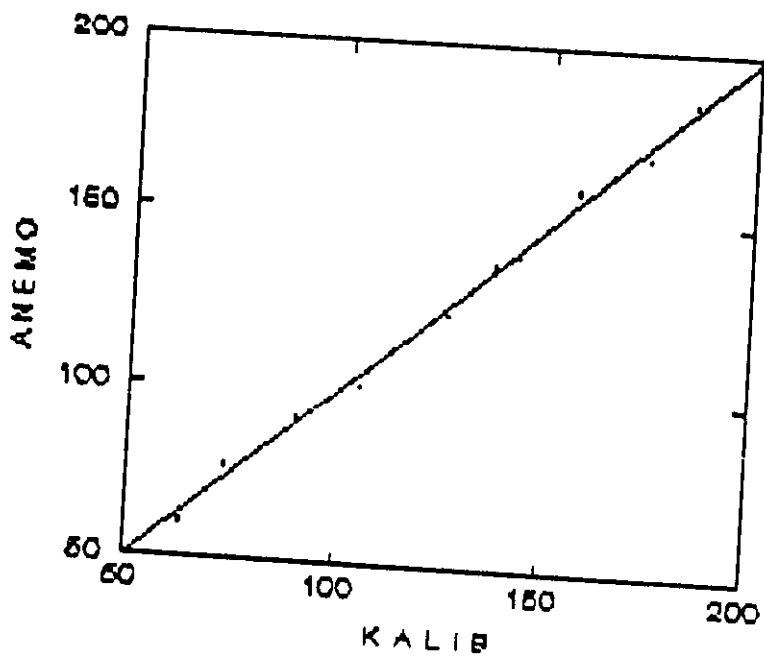
HUBUNGAN ANEMOMETER DAN KALIBRATOR
KELOMPOK I



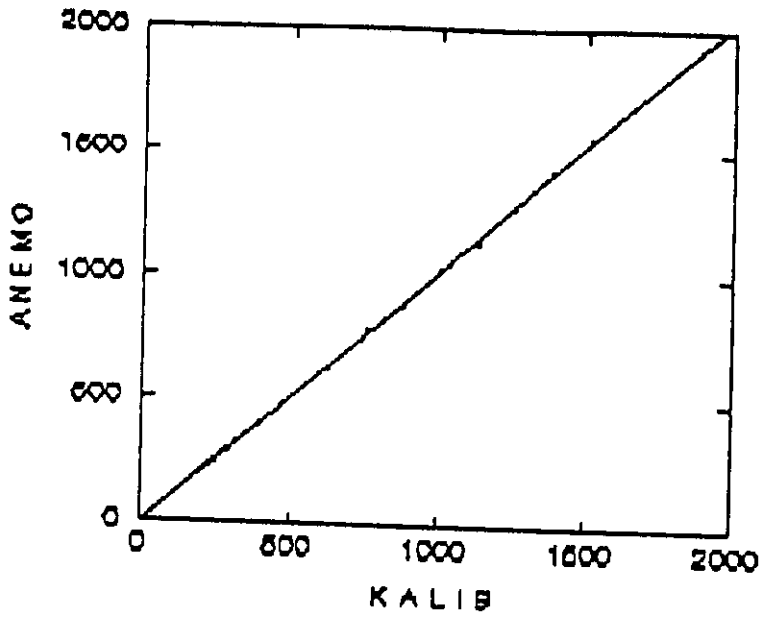
HUBUNGAN ANEMOMETER DAN KALIBRATOR
KELOMPOK II



HUBUNGAN ANEMOMETER DAN KALIBRATOR
KELOMPOK III



HUBUNGAN ANEMOMETER DAN KALIBRATOR
JARAK 50



HUBUNGAN ANEMOMETER DAN KALIBRATOR
JARAK 100

