

STUDI ALAT UKUR JARAK PANDANG MENDATAR SECARA OPTIK

Oleh:

ARIES KRISTIANTO
NIM : 99.812.0036



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
M E D A N
2001

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 28/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (repository.uma.ac.id) 28/12/23

STUDI ALAT UKUR JARAK PANDANG MENDATAR SECARA OPTIK

Oleh :

ARIES KRISTIANTO
NIM : 99.812.0036



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2001**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 28/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (repository.uma.ac.id)28/12/23

STUDI ALAT UKUR JARAK PANDANG MENDATAR SECARA OPTIK

SKRIPSI



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
M E D A N
2001

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 28/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (repository.uma.ac.id)28/12/23

STUDI ALAT UKUR JARAK PANDANG MENDATAR SECARA OPTIK

Oleh :

ARIES KRISTIANTO

NIM : 99.812.0036

Pembimbing I

(Drs.DADAN RAMDAN, M Eng.Sc)

Pembimbing II

(Ir.ZULKIFLI BAHRI)

Menyetujui :
Komisi Pembimbing

Mengetahui

Ketua Jurusan

(Ir. JAIRI TAVIP)

Dekan

(Ir.H.YUSRI NASUTION,SH)

Tanggal Lulus :

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 28/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT , atas ridho-NYA penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir ini. Tugas akhir ini penulis susun dengan judul " **STUDI ALAT UKUR JARAK PANDANG MENDATAR SECARA OPTIK** ". Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata-1 di Fakultas Teknik Jurusan Elektro Universitas Medan Area.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar - besarnya kepada Bapak Drs.Dadan Ramdan, M Eng Sc selaku pembimbing pertama dan Bapak Ir.Zulkifli Bahri selaku pembimbing kedua atas bimbingan dan pengarahan selama penyusunan tugas akhir.

Juga penulis sampaikan ucapan terima kasih kepada :

- Bapak Ir.Zulkarnain Lubis, MS selaku Rektor Universitas Medan Area.
- Bapak Ir.H.Yusri Nasution,SH selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

- Bapak Ir.Kamil Mustafa , MT selaku Pembantu Dekan I Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
- Bapak Ir.Jairi Tavip , selaku Ketua Jurusan Fakultas Teknik Elektro Universitas Medan Area beserta staf.
- Para staff pengajar Fakultas Teknik Jurusan Elektro Universitas Medan Area .
- Bapak Ir.S.Gito.Hutapea , selaku Kepala Balai Meteorologi dan Geofisika Wilayah I Medan , yang telah memberikan izin kepada penulis untuk menyelesaikan pendidikan Strata-1 di Universitas Medan Area.
- Bapak Drs.R.Ponco Nugroho.R , selaku Kepala Stasiun Meteorologi Maritim Belawan , yang juga telah banyak memberikan bantuan dan dorongan kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.

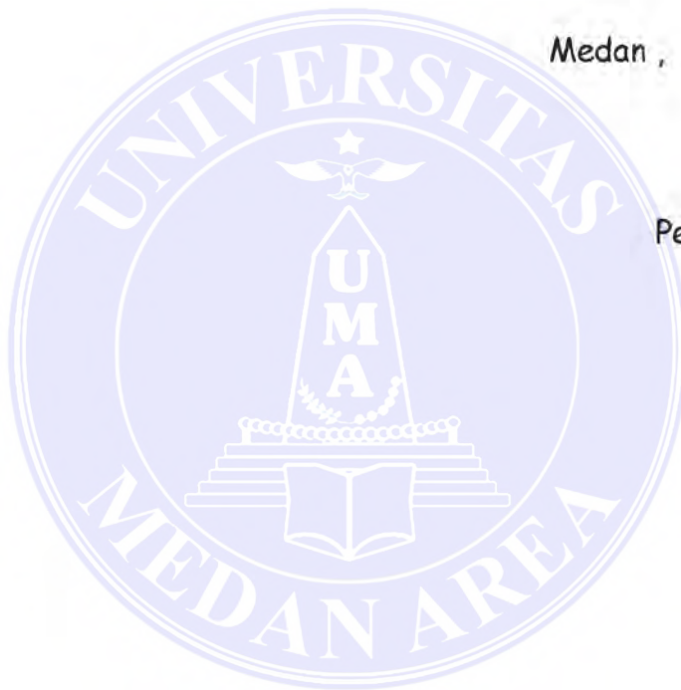
Dan tidak lupa penulis ucapkan terima kasih untuk **Bapak** , **Ibu** , **Kakak** dan **adik - adik** tercinta di Jakarta atas doa dan dukungannya. Juga buat **Desi Arisanti** yang membuatku tetap bersemangat tinggal di Medan. Serta buat Pak Rifwar , Pak Edi Kelana , Utet , Ikhsan , Saiful , Sukri dan semua rekan - rekan yang telah banyak membantu dalam segala hal yang berkaitan dengan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa di dalam penulisan ini masih terdapat kekurangan - kekurangan, baik dari segi penulisan maupun dari segi penyusunannya. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi sempurnanya tugas akhir.

Akhir kata penulis mengharapkan agar isi tulisan bermanfaat bagi kita semua , " Amin ".

Medan , Agustus 2001

Penulis



ABSTRAK

Dampak dari turunnya kualitas udara membawa pengaruh terhadap penjalaran cahaya di atmosfer, terutama oleh partikel-partikel baik berupa zat padat, cair dan gas ataupun zat-zat aerosol lainnya. Hal ini dapat berakibat berubahnya jarak pandang terhadap suatu obyek.

Minimnya ketersediaan perangkat ukur untuk mengukur jarak pandang mendatar, menyebabkan kebutuhan akan alat ukur ini menjadi sangat mahal dan penting. Salah satu cara untuk mengetahui jarak pandang mendatar akibat partikel-partikel yang tersebar di atmosfer dapat dilakukan dengan metode absorpsi langsung dengan berkas tunggal.

Oleh karena itu dalam tugas akhir ini, dibahas studi alat ukur jarak pandang mendatar secara optik dengan berdasarkan metode tersebut, yang memanfaatkan Hukum Beer-Lambert dan Koschmeider sehingga dapat diukur dan diketahui koefisien *extinction*nya. Selanjutnya dapat ditentukan jarak pandang mendatar.

Perkembangan perangkat ukur ini diharapkan bermanfaat dalam bidang pengamatan cuaca dan penelitian pencemaran udara.

DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB.I. PENDAHULUAN	
I.1. Latar Belakang	2
I.2. Maksud dan Tujuan	4
I.3. Metode Pembahasan.....	4
I.4. Ruang Lingkup	5
I.5. Sistematika Pembahasan	5
BAB.II. TEORI DASAR	
II.1. Serapan (Absorpsi) dan Penerusan	6
II.2. Hamburan	10
II.3. Jenis dan Karakteristik Partikel	12
II.4. Jarak pandang mendatar (Visibility)	17
II.5. Kekontrasan	18
II.6. Kepekaan Penglihatan	27

BAB.III. RANCANGAN PERANGKAT

III.1. Prinsip Pengukuran	29
III.2. Penjejak Cahaya dan Deteksi Partikel	30
III.3. Bagian - Bagian Perangkat	33
III.3.1. Sistem Perangkat	33
III.3.2. Sistem Optik	35
III.3.2.1. Sumber Cahaya	35
III.3.2.2. Sistem Pengarah Cahaya	37
III.3.2.3. Menghilangkan berkas cahaya luar	39
III.3.3. Sistem Elektronik	41
III.3.3.1. Rangkaian Fotodetektor	42
III.3.3.2. Rangkaian Penguat Logaritmik	43
III.3.3.3. Rangkaian Pembanding	45
III.3.3.4. Rangkaian Penguat	46
III.3.3.5. Rangkaian Pembalik	47
III.3.3.6. Rangkaian Pengubah Tegangan ke Frekwensi... ..	48
III.3.3.7. Rangkaian Pencacah	49
III.3.3.8. Rangkaian Saklar Elektronik	52
III.3.3.9. Rangkaian Sumber daya	52

BAB.IV. ANALISIS SECARA TEORITIS

IV.1. Karakteristik Perangkat	55
IV.1.1. Perangkat Lunak Electronic Workbench	55
IV.1.2. Linieritas Rangkaian Pembalik	56
IV.1.3. Pengukuran Intensitas Cahaya yang terfokus	59
IV.2. Sumber Penyimpangan	59
IV.2.1 Sumber Penyimpangan dari Perangkat	59
IV.2.2 Sumber Penyimpangan dari Pengukuran	60

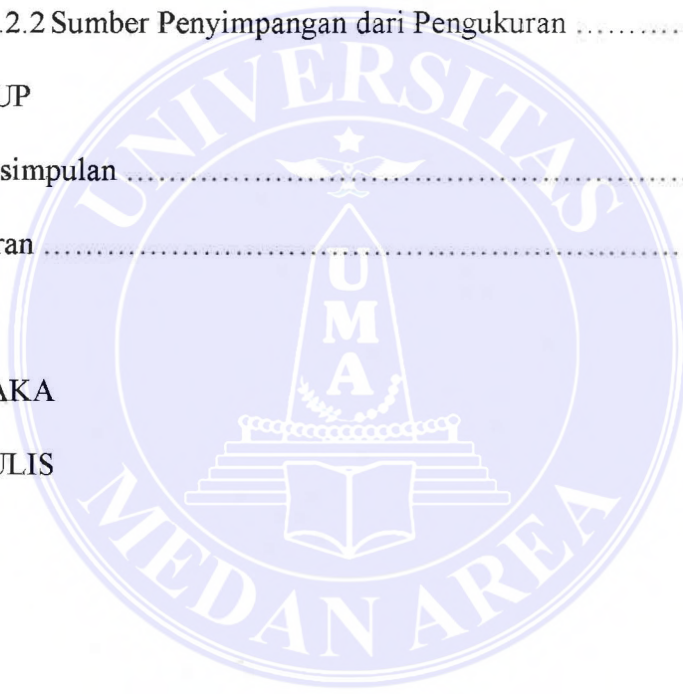
BAB.V. PENUTUP

V.1. Kesimpulan	61
V.2. Saran	61

LAMPIRAN

DAFTAR PUSTAKA

BIODATA PENULIS



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Cahaya yang dilewatkan melalui materi sepanjang x dari I_0 menjadi I ($I < I_0$)	7
Gambar 2.2 Hubungan konsentrasi partikel terhadap visibilitas	9
Gambar 2.3 Pola distribusi intensitas cahaya hamburan oleh partikel	11
Gambar 2.4 Hubungan konsentrasi partikel terhadap ketinggian	13
Gambar 2.5 Ukuran partikel yang tersebar di udara	14
Gambar 2.6 Skema dari obyek hitam pada jarak D mata	19
Gambar 2.7 Pengukuran koefisien extinction dengan metode absorpsi	24
Gambar 2.8 Koefisien extinction partikel yang dihitung dengan teori Mie ...	26
Gambar 2.9 Kurva spektrum sensitifitas untuk mata normal	27
Gambar 3.1 Respon intensitas yang dihamburkan dari berkas sejajar	32
Gambar 3.2 Blok diagram rangkaian	34
Gambar 3.3 Karakteristik lampu tungsten (J.A. Mauro)	36
Gambar 3.4 Bentuk lampu tungsten	37
Gambar 3.5 Berkas cahaya yang difokuskan	37
Gambar 3.6 Gangguan berkas cahaya pada fotodetektor	38
Gambar 3.7 Penempatan 2 buah lensa untuk menghasilkan berkas sejajar ...	39
Gambar 3.8 Bentuk visual bagian optik	41
Gambar 3.9 Rangkaian Fotodetektor	42
Gambar 3.10 Dudukan fotodetektor	43
Gambar 3.11 Rangkaian penguat logaritmik	44

Gambar 3.12	Rangkaian penguat jumlah	45
Gambar 3.13	Rangkaian penguat	47
Gambar 3.14	Rangkaian pembalik	47
Gambar 3.15	Rangkaian pengubah tegangan ke frekwensi	48
Gambar 3.16a	Rangkaian osilator	49
Gambar 3.16b	Rangkaian pembagi 10^6	50
Gambar 3.17	Rangkaian simple rate reset dan latch trigger	50
Gambar 3.18	Rangkaian BCD	51
Gambar 3.19	Rangkaian saklar elektronik	52
Gambar 3.20a	Rangkaian sumber daya untuk lampu dan counter	53
Gambar 3.20b	Rangkaian sumber daya untuk penguat dan pengubah Tegangan	53
Gambar 3.20c	Rangkaian sumber daya untuk rangkaian fotodetektor	54
Gambar.4.1	Simulasi Rangkaian pembalik	56
Gambar.4.2	Karakteristik rangkaian pembalik	58

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1	Jarak pandang mendatar menurut Hulburt (1941) 25
Tabel 4.1	Hasil pengukuran karakteristik rangkaian pembalik 57



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Rangkaian lengkap alat ukur jarak pandang mendatar secara optik.
- Lampiran 2 Daftar komponen yang digunakan.



BAB. I

PENDAHULUAN

Kualitas udara pada saat ini sudah mulai mengkhawatirkan dan pencemaran udara yang terjadi cenderung meningkat. Hal ini disebabkan akibat perkembangan sosial budaya manusia, transportasi, industri dan lain sebagainya yang menimbulkan dampak negatif. Terlebih perkembangan industri yang kurang terencana dengan baik akan membuang limbah industrinya ke udara, sehingga memperburuk kadar atmosfer yang sangat membahayakan dan mempengaruhi ekosistem kehidupan maupun atmosfer itu sendiri.

Turunnya kualitas udara akibat pencemaran udara yang berbentuk partikel – partikel akan mempengaruhi secara langsung jarak pandang, yang dapat mengakibatkan timbulnya kecelakaan lalu lintas dan terhambatnya transportasi baik di darat, laut maupun di udara yang diakibatkan oleh berubahnya jarak pandang normal akibat partikel tersebut. Berkurangnya jarak pandang mendatar ini pernah terjadi pada akhir tahun 1997, dimana Bandara Polonia Medan ditutup sementara untuk operasional pesawat terbang sampai beberapa hari akibat banyaknya kabut dan asap kebakaran hutan. Pada tahun yang sama juga terjadi kecelakaan pesawat terbang di Desa Buah Nabar, Sibolangit Sumatera Utara, yang menewaskan seluruh penumpang dan awaknya, dimana salah satu faktor pengaruhnya adalah karena jarak pandang mendatar yang rendah akibat buruknya kondisi udara. Kebakaran hutan yang sering terjadi di daerah - daerah Riau dan Sumatera Utara pada musim – musim

kemarau , yang tak jarang negara kita sering mendapat kecaman – kecaman dari negara – negara tetangga seperti Malaysia dan Singapura , juga mempengaruhi buruknya jarak pandang. Dan masih banyak lagi kecelakaan kapal – kapal di laut akibat jarak pandang yang buruk.

Jarak pandang mendatar yang terganggu perlu diidentifikasi secara jelas agar dampak dari polusi dan menurunnya kualitas udara terhadap jarak pandang bisa dihindari atau dicegah. Untuk menentukan jarak pandang mendatar selama ini banyak dilakukan secara subyektif. Oleh karena itu dalam tugas akhir ini dicoba untuk membuat studi perangkat ukur untuk menunjukkan jarak pandang mendatar yang bertitik tolak dari sifat fisis partikel.

Koschmeider (1938) telah mengetengahkan bentuk rumusan jarak pandang mendatar (visibility) , sedangkan Hulburt (1941) telah mentabelkan jarak pandang mendatar berdasarkan kondisi atmosfer secara Internasional.

I.1. Latar Belakang

Kondisi udara dapat berpengaruh terhadap aktifitas manusia. Udara yang bersih juga sangat besar pengaruhnya terhadap kehidupan manusia , baik secara jasmani maupun rohani. Keadaan udara inipun berpengaruh terhadap penglihatan atau pandangan. Udara yang bersih dalam hal ini diartikan sebagai bebas dari bahan pencemar yang melampaui dari batas kenormalan , baik gas , aerosol partikel bermuatan atau bahan pencemar lainnya. Partikel – partikel debu berpengaruh terhadap jarak pandang mendatar manusia , apabila melebihi ambang normal $0,015 \mu\text{g} / \text{m}^3$.

Secara normal mata manusia akan berfungsi secara baik pada saat melihat suatu benda di sekitarnya tampak jelas dan sempurna, dan tidak perlu mengakomodasikan mata dengan sekuat – kuatnya atau mendekati benda tersebut. Lain halnya apabila di sekitar benda tersebut terdapat partikel – partikel maupun zat (aerosol, gas) yang bertebaran, sehingga beberapa kemungkinan akan terjadi. Jarak pandang manusia akan berubah melihat benda tersebut, sehingga tidak akan menduga bentuk dan letak benda tersebut.

Partikel yang bertebaran di udara ditimbulkan oleh sumber – sumber yang secara garis besar dapat dibagi dua; pertama, timbul secara alamiah, misalnya menguap embun di pagi hari, kabut, semburan debu gunung meletus, asap kebakaran hutan dan lain – lain. Yang kedua timbul secara buatan, misalnya karena asap industri / pabrik, buangan kendaraan bermotor, asap rokok, dan dari akibat kehidupan sosial budaya manusia lainnya.

Dalam bidang meteorologi jarak pandang mendatar (*visibility*) ini merupakan salah satu unsur cuaca yang penting dan harus diamati setiap jam. Tetapi dalam praktek di lapangan, masih banyak stasiun – stasiun meteorologi mengamati jarak pandang mendatar (*visibility*) ini dengan cara pengamatan langsung secara visual (kasat mata) terhadap suatu obyek / titik acuan tetap yang telah diketahui jaraknya. Pengamatan jarak pandang mendatar yang hanya mengandalkan kemampuan mata pengamat (*observer*) ini tentunya tidak dapat menjamin ketepatan hasil pengukurannya, karena kemampuan mata setiap pengamat yang berbeda – beda.

Pemakaian alat pengukur jarak pandang mendatar memang pernah juga digunakan, namun masih terbatas pada stasiun – stasiun meteorologi kelas I. Dan

tidak jarang peralatan tersebut sudah tidak bisa dioperasikan karena kesulitan perbaikan dan suku cadang serta beban biaya pemeliharaan yang mungkin cukup besar.

Berdasarkan keadaan tersebut di atas, maka diperlukan alat bantu untuk menentukan jarak pandang mendatar. Dalam hal ini pengukuran dilakukan dengan menggunakan teknik optik yang memanfaatkan sifat fisis dari partikel.

I.2. Maksud dan Tujuan

Tugas akhir ini dimaksudkan untuk mempelajari tentang perancangan perangkat ukur optik jarak pandang mendatar di atmosfer, dengan tujuan untuk mengetahui konsep – konsep dasar rancangan, prinsip kerja dari bagian - bagian perangkat ukur jarak pandang mendatar sehingga dapat digunakan dalam pengamatan cuaca maupun penelitian pencemaran udara.

I.3. Metode Pembahasan

Metode pembahasan yang digunakan dalam tugas akhir ini berdasarkan pada metode pengukuran absorpsi langsung yang mengacu pada rumus Beer-Lambert dan Koschmeider. Dimana dengan metode ini dapat dicari atau diukur koefisien *extinction*.

Untuk mengetahui karakteristik rangkaian perangkat ukur, maka dilakukan analisis secara teoritis dengan menggunakan program komputer *Electronic Workbench* versi 5.12.

I.4. Ruang Lingkup

Dalam hal ini , penulisan skripsi hanya membahas studi perangkat ukur optik jarak pandang mendatar secara tinjauan teoritis. Namun demikian diharapkan pada masa yang akan datang , perangkat ukur optik ini dapat diwujudkan.

I.5. Sistematika Pembahasan

Penulisan tugas akhir ini dimulai dengan pendahuluan sebagai Bab I yang mengungkapkan latar belakang serta maksud dan tujuan yang ingin dicapai , metode pembahasan yang mendasari dan ruang lingkup penulisan.

Selanjutnya dalam Bab II digambarkan teori dasar tentang serapan (absorpsi) dan penerusan , hamburan , jenis dan karakteristik partikel yang merupakan dasar dari perangkat ukur optik jarak pandang mendatar ; serta pengertian jarak pandang mendatar (*visibility*) , kekontrasan dan kepekaan penglihatan.

Bab III membahas tentang rancangan perangkat ukur yang meliputi prinsip pengukuran , penjejak cahaya dan deteksi partikel , serta bagian – bagian perangkat beserta sistemnya , yang terdiri dari dua sistem pokok , yaitu sistem optik dan, sistem elektronik.

Bab IV mengetengahkan analisis secara teoritis , yang membahas tentang karakteristik perangkat ukur dan kemungkinan sumber – sumber penyimpangan yang terjadi.

Dalam Bab akhir (Bab V) diberikan beberapa simpulan dan dikemukakan beberapa saran untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

BAB. II

TEORI DASAR

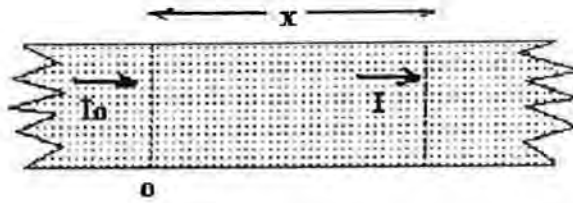
II.1. Serapan (Absorpsi) dan Penerusan

Pengaruh alam dan aktifitas manusia mengakibatkan perubahan terhadap keadaan udara. Dampak dari adanya partikel dan gas – gas di udara mempengaruhi penjalaran cahaya , yang tentunya menyebabkan cahaya dari suatu obyek yang sampai ke mata juga akan terganggu.

Walaupun ada cahaya langsung yang berasal dari sumber cahaya tetapi lazimnya cahaya yang masuk ke mata merupakan cahaya pantul dari obyek yang dilihat. Jika cahaya pantul menembus suatu materi yang ada di sekitar benda , yang berbentuk padatan , cairan maupun gas , maka intensitasnya akan berkurang atau menurun secara eksponensial terhadap jarak dan koefisien *extinction* dari materi yang dilaluinya (Beer – Lambert 1729). Intensitas cahaya yang diterima oleh mata akan dipengaruhi oleh materi tersebut. Dan adanya proses absorpsi maupun hamburan oleh materi yang dilintasinya akan menyebabkan terjadi pengurangan intensitas.

Serapan (absorpsi) merupakan terjadinya proses menghilangnya energi akibat melalui suatu materi. Dan energi yang diteruskan atau yang ditransmisikan merupakan energi sisa yang tidak diserap yang dapat keluar setelah melalui materi tersebut.

Pada Gambar 2.1 diperlihatkan seberkas cahaya yang dilewatkan pada suatu materi penyerap.



Gambar 2.1 Cahaya yang dilewatkan melalui materi sepanjang x dari I_0 menjadi I ($I < I_0$)

Intensitas cahaya pada $x = 0$ adalah I_0 dan pada saat gelombang cahaya melewati materi, amplitudo dan intensitasnya mengalami perubahan. Intensitasnya terus berkurang menjadi I setelah melewati jarak sepanjang x dari materi tersebut. Hubungan antara I , I_0 dan x telah diperlihatkan oleh Bougeur, yang menyatakan bahwa setiap elemen ketebalan dari materi penyerap akan menyerap bagian yang sama dari intensitas cahaya yang jatuh padanya. Jika materi itu dibagi menjadi lapisan vertikal yang memiliki ketebalan yang sama, maka intensitas yang masuk ke lapisan kedua di sebelah kanan $x = 0$ (setelah melewati satu satuan ketebalan penyerap, yaitu $t_c I_0$), dengan t_c merupakan koefisien transmisi, maka intensitas yang memasuki lapisan berikutnya berturut – turut adalah $t_c^2 I_0$, $t_c^3 I_0$, ... dan seterusnya. Besarnya intensitas I setelah melewati materi setebal x menjadi :

$$I = I_0 t_c^x \tag{2.1}$$

Menurut Bouguer koefisien transmisi akan menurun secara eksponensial terhadap koefisien *extinction* yang mempengaruhinya, jadi :

$$t_c = e^{-\alpha} \quad (2.2)$$

Sehingga persamaan (2.1) dapat ditulis sebagai berikut:

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (2.3)$$

Dimana :

I = Intensitas cahaya setelah melalui materi

I_0 = Intensitas cahaya sebelum melalui materi

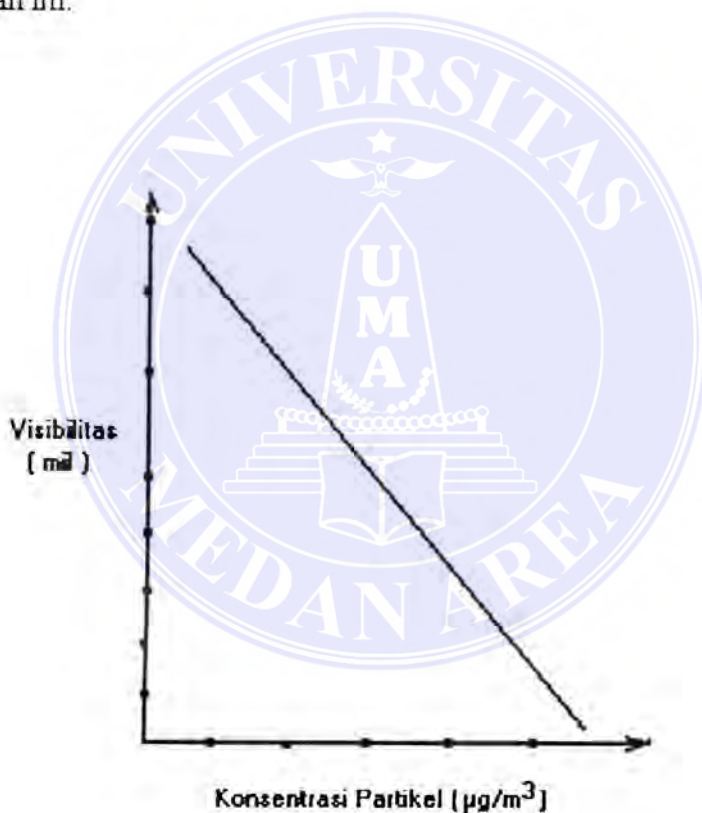
α = Koefisien *extinction* (koefisien absorpsi dan koefisien hamburan)

x = Jarak yang dilalui cahaya

Hukum yang dinyatakan oleh persamaan (2.3) diberikan oleh Borgeur tetapi sering disebut dengan Hukum Beer – Lambert (nama pembaharunya).

Cahaya yang melintasi atmosfer akan mengalami peristiwa tersebut di atas, dimana kondisi udara yang berperan sebagai materi, akan mempengaruhi besar cahaya yang diserap, dihamburkan dan diteruskan. Makin kotor kondisi udara, makin besar koefisien *extinction*nya, dan koefisien transmisi akan berkurang.

Besar kecilnya koefisien *extinction* pada jarak tertentu tergantung pada besar kecilnya konsentrasi partikel. Jika konsentrasi kecil maka koefisien *extinction* akan kecil, sehingga jarak pandang mendatarnya jauh atau visibilitas besar. Sebaliknya jika konsentrasi partikelnya makin besar, maka koefisien *extinction* juga akan semakin besar, sehingga visibilitasnya akan semakin kecil atau jarak pandang mendatarnya semakin pendek. Hubungan antara pengaruh konsentrasi partikel dengan jarak pandang mendatar (visibilitas) untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2. Hubungan konsentrasi partikel terhadap visibilitas

II.2. Hamburan

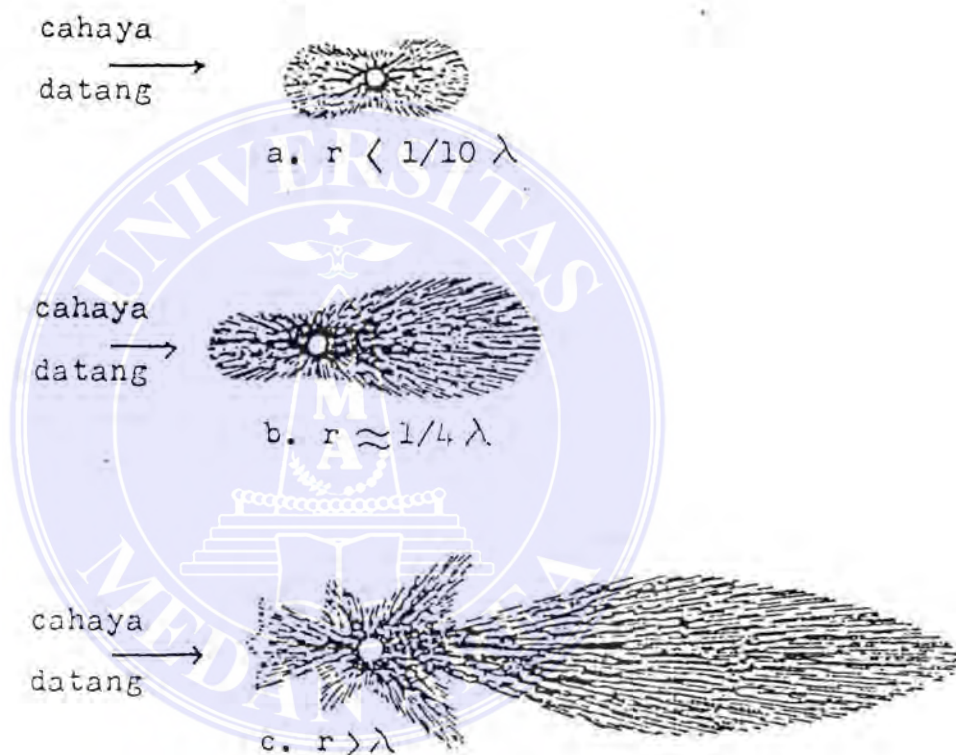
Cahaya yang tampak oleh mata selain hasil pantulan oleh benda atau obyek, juga mengalami peristiwa hamburan dari materi yang ada di atmosfer yang umumnya berbentuk molekul – molekul dari berbagai macam zat, baik padat, cair maupun gas.

Proses hamburan terjadi berkaitan dengan atom yang menyerap gelombang datang dan memancarkannya dengan frekuensi yang sama. Setiap molekul atau atom dapat menghamburkan gelombang elektromagnetik yang datang. Apabila gelombang tersebut memiliki frekuensi f , setelah mengenai elektron maka elektron tersebut akan beresonansi dengan frekuensi yang sama, yang energinya didapat dari gelombang datang. Kemudian elektron yang beresonansi tadi akan memancarkan gelombang elektromagnetik kembali dengan frekuensi yang sama dengan gelombang datang. Untuk kumpulan atom yang mengalami hamburan yang sama, maka hamburannya bersifat isotropik.

Distribusi intensitas cahaya yang dihamburkan oleh setiap partikel tidak selalu mempunyai pola yang sama, tergantung dari perbandingan panjang gelombang yang datang dan ukuran partikel itu sendiri. Oleh sebab itu dapat dibedakan beberapa bentuk hamburan, yaitu :

1. Hamburan oleh partikel yang bersifat isotropik dengan diameter yang jauh lebih kecil daripada panjang gelombang cahaya yang datang, akan mempunyai pola distribusi intensitas yang simetris (Gambar 2.3.a).
2. Hamburan oleh partikel dengan ukuran tidak jauh berbeda dengan panjang gelombang, maka pola distribusi intensitasnya tidak simetris (Gambar 2.3.b).

3. Hamburan oleh partikel dengan diameter yang lebih besar daripada panjang gelombang cahaya yang datang , maka harga intensitas maksimum dan minimum akan bervariasi terhadap sudut hamburan , dengan intensitas yang terbesar terjadi pada arah depan (Gambar 2.3.c).



Gambar. 2.3. Pola distribusi intensitas cahaya hamburan oleh partikel

Intensitas hamburan sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel, indeks bias partikel (perbandingan antara indeks bias partikel terhadap indeks bias medium sekitarnya) dan panjang gelombang cahaya datang.

Hamburan oleh partikel dengan diameter yang lebih kecil daripada panjang gelombang cahaya datang, yaitu untuk partikel yang mempunyai diameter lebih kecil dari 0.06λ disebut Hamburan Rayleigh. Hamburan ini terjadi pada molekul udara. Sedangkan untuk partikel yang lebih besar berlaku Hamburan Mie, dengan anggapan partikel homogen, isotropik dan berbentuk bola (sferis).

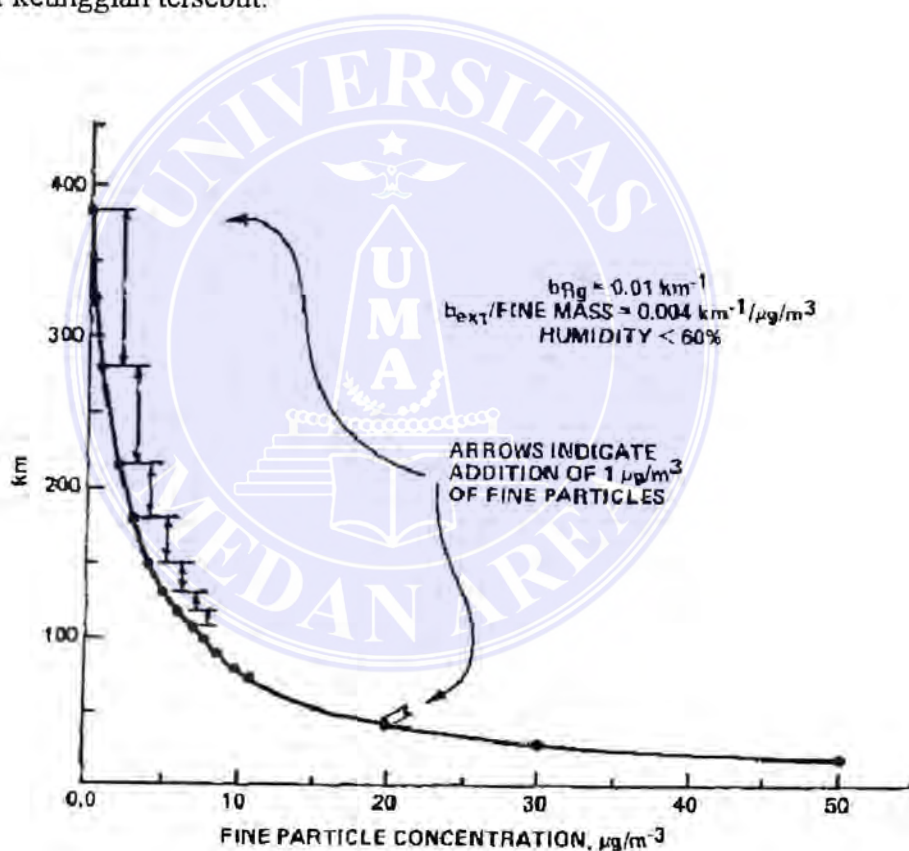
II.3. Jenis dan Karakteristik Partikel

Sebaran partikel di atmosfer sangat banyak jumlahnya, baik berupa gas, cair atau padat. Kandungan zat tersebut dapat berubah – ubah, baik secara alami maupun akibat aktifitas manusia. Kualitas udara yang tercemar ini sudah tentu dapat mengganggu kehidupan manusia, juga sekaligus mengganggu jalannya cahaya yang melintas. Ada beberapa dampak yang ditimbulkan oleh menurunnya kualitas udara ini, yang berkaitan dengan fisis – optis, di antaranya :

1. Timbulnya serapan, hamburan dan perubahan indeks bias udara.
2. Polarisasi.
3. Visibilitas di sepanjang lintasan optik.
4. Perubahan lintasan optik.

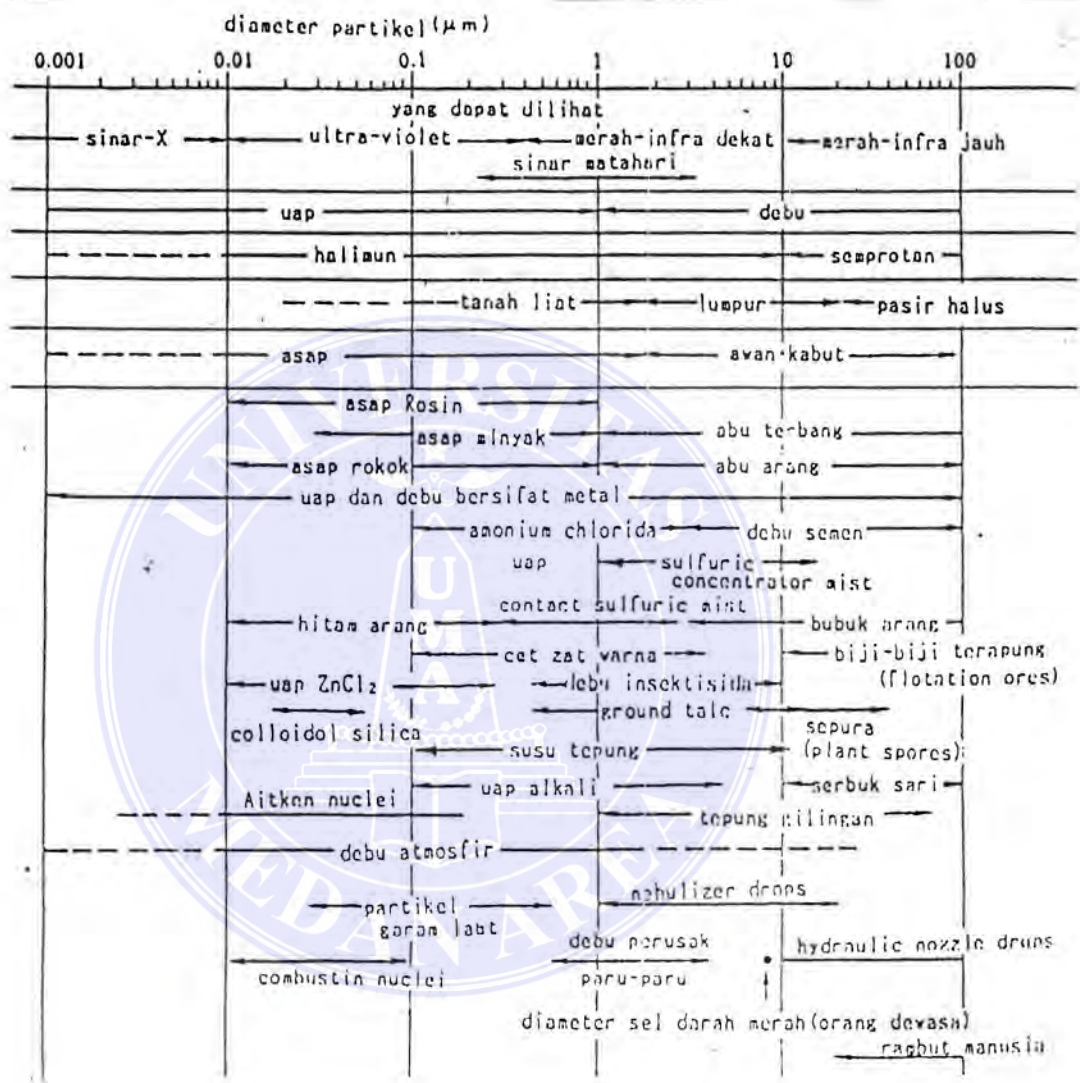
Jarak pandang mendatar akan berkurang akibat partikel - partikel yang tersuspensi karena teredamnya cahaya seperti pada Gambar 2.2 dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi partikel semakin rendah jarak pandangnya dan semakin rendah konsentrasi partikel maka visibilitasnya semakin jauh.

Sementara itu pengaruh konsentrasi partikel terhadap ketinggian dapat dilihat pada Gambar 2.4. , dimana pada lapisan di bawah ketinggian 50 km konsentrasi partikel relatif cukup tinggi. Hal ini akan berpengaruh terhadap penjalaran cahaya di sekitar ketinggian tersebut.



Gambar. 2.4. Hubungan konsentrasi partikel terhadap ketinggian

Pada Gambar 2.5. di bawah ini akan ditunjukkan macam – macam partikel yang tersebar di atmosfer , diameter serta cahaya yang digunakan untuk mendeteksi.



Gambar. 2.5. Ukuran partikel yang tersebar di udara

Partikel – partikel yang ada di atmosfer mempunyai ukuran , bentuk dan jenis tertentu , yaitu :

1. Asap (*smoke*) , yaitu partikel berupa zat padat atau zat cair yang mempunyai ukuran diameter lebih kecil dari $1 \mu\text{m}$, terjadi karena pembakaran yang tidak sempurna.
2. Uap air , terjadi karena penguapan , bentuk partikel berupa zat cair yang mempunyai diameter lebih kecil dari $1 \mu\text{m}$, tidak berwarna , tidak berbau dan tidak terlihat.
3. Embun (*dew*), partikel yang memiliki ukuran diameter antara $0.001 - 0.1 \mu\text{m}$, terjadi sebagai hasil kondensasi uap air dari udara cerah sekitarnya.
4. Awan , merupakan partikel yang mengandung uap air yang terjadi karena peristiwa adveksi , konveksi ataupun turbulensi , dan juga merupakan bibit timbulnya hujan.
5. Kabut (*fog*) , terdiri dari titik - titik air yang sangat kecil , berada dalam suspensi udara terjadi karena kondensasi uap. Kabut ini berdiameter sampai $100 \mu\text{m}$ berada beberapa meter di atas permukaan bumi sampai ratusan meter. Kabut ini mengakibatkan udara menjadi keruh hingga pandangan menjadi buruk Pada keadaan kabut yang tipis umumnya jarak pandang mendatar kurang dari 1 km .
6. Hujan , merupakan gabungan titik – titik air yang besar dari anasir – anasir awan yang telah mencapai titik jenuh , berupa *hydrometeor* yang berupa

partikel – partikel air yang berbentuk kepingan dengan diameter 0.5 mm atau lebih.

7. Debu (*dust*) , merupakan partikel berupa zat padat yang berdiameter lebih kecil dari 1 μm sampai dengan 10 μm , biasanya berterbangan akibat hembusan angin. Debu terjadi karena proses penghancuran atau kompresi oleh tenaga luar yang bersifat mekanik.
8. *Haze* , merupakan partikel – partikel kering yang sangat kecil yang melayang – layang di udara. Haze memiliki udara yang kering.
9. *Smog* , merupakan campuran dari asap dan kabut tipis , partikelnya merupakan zat padat dan zat cair , dan memiliki diameter lebih kecil dari 1 μm .

Partikel – partikel yang tersebar di udara memiliki karakteristik dan sifat – sifat yang berbeda satu sama lain. Sifat ini tergantung dari jenis dan ukuran partikel itu sendiri , selain tergantung juga dengan panjang gelombang cahaya yang diberikan. Secara fisik sifat – sifat partikel yang menonjol , antara lain :

1. Partikel – partikel dapat menyebar ke seluruh daerah tergantung dari kondisi meteorologis di sekitarnya.
2. Partikel – partikel menyebar berdasarkan gerak *Brownian* dan memperlihatkan gejala kondensasi antar partikel (efek kondensasi).
3. Mengakibatkan gejala dispersi cahaya.
4. Mudah bermuatan listrik akibat pengaruh gesekan dan karena radiasi.

5. Mempunyai tanggapan diri sendiri – sendiri terhadap panjang gelombang cahaya yang diberikan , sehingga dapat mengetahui tanggapan keluaran cahaya yang jatuh padanya untuk diidentifikasi jenisnya.
6. Partikel – partikel yang ukurannya kecil mudah untuk mengendap karena gravitasi diakibatkan sentuhan atau tabrakan dengan uap air di udara.
7. Partikel – partikel yang relatif cukup besar , apabila arus udara tiba - tiba berubah arah akan memisahkan diri dari arus udara yang mengandung partikel.
8. Partikel dalam keadaan mengapung akan mengendap dengan kecepatan pengendapan yang bervariasi terhadap diameter partikel , berat jenis dan sifat higroskopis .

II.4. Jarak Pandang Mendatar (*Visibility*)

Jarak pandang mendatar atau yang sering dikenal dengan *visibility* atau visibilitas yang berarti jarak horizontal terjauh (maksimum) objek yang masih dapat dilihat dengan jelas pada keadaan terang normal oleh mata telanjang . Dalam praktek definisi ini sangat sulit dilakukan karena identifikasi dari suatu obyek sangat bergantung pada pengenalan terhadap sifat obyek itu . Untuk itu jarak pandang mendatar didefinisikan sebagai jarak terjauh (maksimum) pada saat suatu obyek masih dapat dibedakan atau dilihat terhadap latar belakang.

Jarak pandang mendatar (visibilitas) dalam jarak dekat dinyatakan dalam meter atau kadang dalam yard , sedangkan untuk jarak jauh visibilitas dinyatakan dalam kilometer ataupun mil.

Dalam penentuan visibilitas atau jarak pandang suatu obyek dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor , antara lain :

- a) Adanya partikel – partikel di udara , baik berupa zat padat maupun cair.
- b) Pengaruh warna suatu obyek terhadap latar belakangnya.
- c) Pengaruh ukuran sudut obyek yang akan diukur.
- d) Pengaruh sinar cahaya lain dari luar.

x

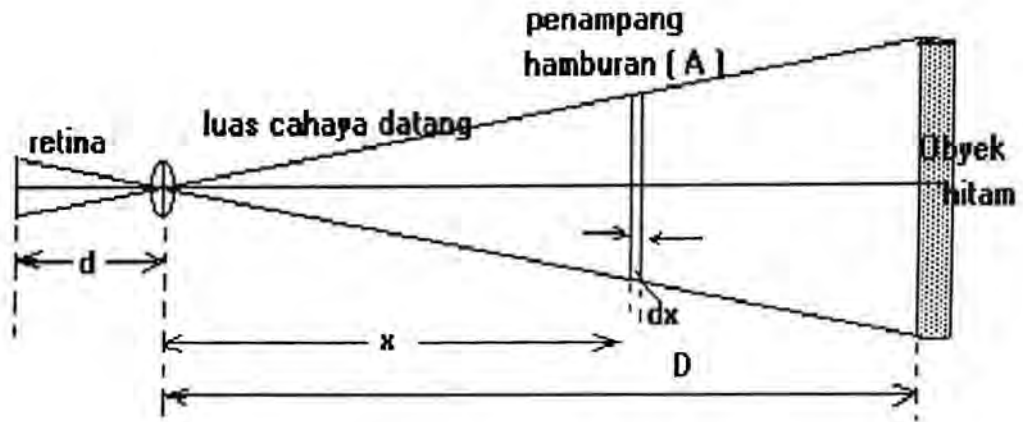
II.5. Kekontrasan

Jika suatu obyek dilihat terhadap kaki langit pada suatu jarak tertentu , kecerahannya akan mendekati kecerahan latar belakangnya sehingga obyek akan tidak tampak lagi. Jadi kekontrasan adalah kecerahan obyek yang masih dapat dilihat karena pengaruh latar belakang.

Kecerahan suatu obyek pada jarak tertentu dapat berubah dari pengamat disebabkan oleh hamburan cahaya ke arah pengamat karena adanya suspensi partikel pada lintasan optik.

Jarak pandang mendatar yang dipengaruhi oleh hamburan dan penyerapan telah dibahas oleh Koschmeider. Pada Gambar 2.6. ditunjukkan skema dari obyek hitam pada jarak D dari mata. Kekontrasan B dapat dinyatakan dari densitas flux yang dihasilkan oleh retina mata.

Dari gambar tersebut , perhatikan irisan kecil dari suatu volume dengan panjang dx dan penampang A . Cahaya terhambur dari volume terukur adalah $\alpha E_0 A dx$, dimana α koefisien *extinction* , E_0 adalah radiasi cahaya datang. Besarnya



Gambar. 2.6. Skema dari obyek hitam pada jarak D mata

cahaya terhambur yang diterima oleh mata adalah c (lumen / steradian²). Dimana faktor c tidak tergantung dari x , tetapi tergantung dari sudut hamburan dan ukuran partikel penghambur. Dengan demikian cahaya terhambur persatuan sudut ruang dalam arah mata adalah :

$$dI = c \alpha E_0 A dx \quad (2.4)$$

dimana :

dI = Intensitas cahaya yang diterima mata

c = Cahaya terhambur yang diterima mata

α = Koefisien *extinction*

E_0 = Energi radiasi cahaya

A = Luas penampang hamburan

dx = Perubahan jarak

Cahaya yang mencapai mata hanya sebesar $e^{-\alpha x}$ saja, diakibatkan adanya rugi – rugi antara benda yang dilihat dengan mata. Jika mata memiliki luas sebesar a dengan diameter jarak x , maka sudut ruang untuk mata adalah a/x^2 . Sehingga fluk total yang memasuki mata dirumuskan :

$$dF = dI (a/x^2) e^{-\alpha x} \quad (2.5)$$

dengan mensubstitusi persamaan (2.4) dengan persamaan (2.5) maka didapatkan :

$$dF = c E_o A a (\alpha/x^2) e^{-\alpha x} dx \quad (2.6)$$

dimana :

a = luas mata

Jika jarak fokus mata adalah d dan luas bayangan retina adalah $A d^2 /x^2$.

Kekontrasan atau densitas fluk retina adalah dF dibagi luas bayangan, yaitu :

$$dB_o = c E_o (a/d^2) \alpha e^{-\alpha x} dx \quad (2.7)$$

Dengan mengintegrasikan persamaan (2.7) dari $x = 0$ sampai $x = d$, akan didapat kecerahan total dari suatu obyek hitam seperti di bawah ini :

$$B_o = c E_o (a/d^2) (1 - e^{-\alpha d}) \quad (2.8)$$

Koschmeider mengemukakan bahwa bila suatu obyek dilihat terhadap kaki langit pada suatu jarak tertentu , kekontrasan suatu obyek akan mendekati latar belakangnya , sehingga obyek tidak tampak lagi. Apabila kekontrasan obyek dinyatakan dengan B_o dan kekontrasan kaki langit dinyatakan dengan B_b , dimana jarak x pada persamaan (2.7) dianggap jauh sekali atau $x = \infty$ tak terhingga ($x = \infty$) .

Maka :

$$B_o = c E_o a/d^2 \quad (2.9)$$

Benda akan tetap terlihat apabila tidak terdapat kontras warna dan selama perbandingan perbedaan antara kecerahan obyek dan kecerahan latar belakang melampaui suatu batas harga tertentu. Dan dapat ditunjukkan dalam rumus matematika berikut :

$$\frac{B_o - B_b}{B_b} \geq \epsilon \quad (2.10)$$

dimana :

ϵ = harga ambang kekontrasan

Pada siang hari harga ϵ berharga sebesar 0.01 sampai dengan 0.02 untuk kondisi mata normal.

Jika jarak pandang mendatar atau visibilitas sama dengan jarak D_m , maka kekontrasan dari suatu obyek hitam terhadap kaki langit akan tampak jelas, dimana kekontrasan sama dengan harga ambang ϵ . D_m adalah jarak obyek hitam dari mata untuk kekontrasan yang optimal. Sehingga,

$$\frac{B_o - B_b}{B_b} = \epsilon \quad (2.11)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.8) dan persamaan (2.9) ke dalam persamaan (2.11), maka didapat :

$$e^{-\alpha D_m} = - \epsilon \quad (2.12)$$

atau

$$D_m = 1/\alpha \ln \epsilon$$

karena memiliki satuan jarak, maka dapat ditulis :

$$D_m = 1/\alpha \ln \epsilon \quad (\text{km}) \quad (2.13)$$

dimana :

D_m adalah visibilitas dari obyek hitam terhadap kaki langit.

Persamaan (2.13) merupakan ketentuan umum untuk semua kondisi atmosfer. Jarak pandang mendatar (visibilitas) dapat dikatakan berbanding terbalik dengan koefisien *extinction* , apabila ϵ dianggap konstan. Persamaan (2.13) ini juga merupakan persamaan dasar yang memenuhi untuk semua kondisi cuaca dan juga hanya menyatakan visibilitas dalam sifat fisis atmosfer dan konstanta mata. Dengan demikian visibilitas dari suatu obyek hitam dapat dianggap sebagai visibilitas standar.

Koefisien *extinction* sangat menentukan *visibility* , dimana pada atmosfer lapisan bawah biasanya ditentukan oleh zat – zat suspensi seperti debu , kabut , asap dan partikel lainnya. Sehingga visibilitas ini akan merupakan fungsi koefisien *extinction* yang dinyatakan dalam besaran jarak. Koefisien *extinction* ini biasanya akan berkurang dengan bertambahnya ketinggian.

Koschmeider menyempurnakan persamaan (2.13) dengan membuat rumus empiris dari mata normal manusia yang dihubungkan dengan panjang gelombang cahaya yang digunakan.

Rumus empiris tersebut adalah :

$$D_m = 1/\alpha \ln \epsilon \left(\frac{0.55 \mu\text{m}}{\lambda \mu\text{m}} \right)^q \quad (2.14)$$

dimana :

q = Faktor keadaan atmosfer yang besarnya antara 0.12 sampai 2.3

λ = Panjang gelombang cahaya yang digunakan

Dengan asumsi bahwa obyek yang akan didekati dianggap putih sempurna , maka oleh Mc Cartney (1976) dan Koschmeider mengambil harga ϵ sebesar 0.02 , sedangkan q sendiri dipilih setelah dilakukan kalibrasi dengan alat ukur yang tersedia. Dengan pernyataan tersebut , maka persamaan (2.14) dapat ditulis menjadi :

$$D_m = \frac{3.912}{\alpha} \left(\frac{0.55 \mu m}{\lambda \mu m} \right)^q \quad (2.15)$$

Dengan persamaan (2.15) ini dapat digunakan untuk mengukur jarak pandang mendatar (visibilitas) , yang tergantung dari panjang gelombang dan koefisien extinction.

Dengan metode absorpsi cahaya oleh aerosol dapat ditentukan koefisien extinction berdasarkan pada persamaan (2.15). Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7. berikut ini :



Gambar. 2.7. Pengukuran koefisien extinction dengan metode absorpsi

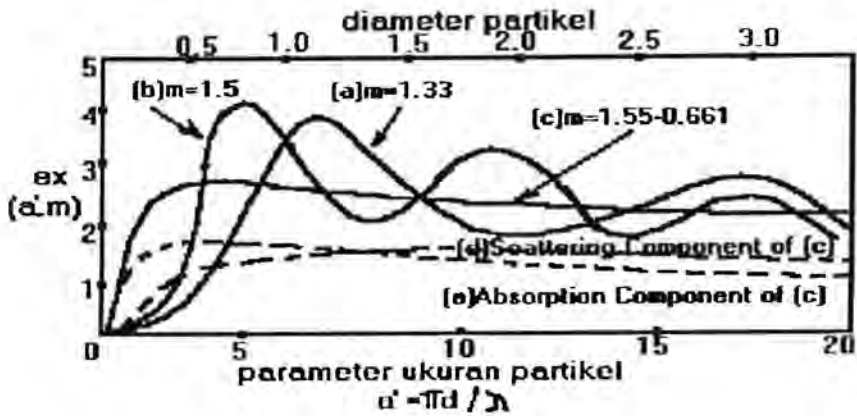
Pengukuran ini dapat digunakan untuk mengetahui jarak pandang mendatar (*visibility*) dengan memanfaatkan persamaan (2.15). Dimana pengukuran ini dilakukan dengan mengukur bagian cahaya yang ditransmisikan yang berasal dari berkas cahaya yang melewati ruang ukur aerosol , sehingga akan terjadi proses pemadaman. Dengan demikian jelas bahwa cahaya yang ditransmisikan merupakan hasil dari proses pemadaman yang terdiri dari proses absorpsi dan hamburan , yang merupakan dua komponen pembentuk koefisien *extinction*.

Pada tabel berikut ini dapat dilihat hubungan kondisi atmosfer dengan jarak pandang mendatar menurut Hulburt (1941)

Tabel.2.1. Jarak pandang mendatar menurut Hulburt (1941)

No	Kondisi Atmosfir	Jarak pandang mendatar	Koefisien <i>extinction</i>
1	Berkabut	50 m – 1 km	78.200 – 3.910
2	Beruap	1 km – 4 km	3.910 - 0.954
3	Beruap tipis	4 km – 10 km	0.954 – 0.391
4	Cerah	10 km – 20 km	0.391 – 0.196
5	Sangat Cerah	20 km – 50 km	0.196 – 0.078

Sedangkan untuk hubungan antara koefisien *extinction* partikel dengan parameter ukuran partikel a' dapat dihitung dengan teori Mie. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.8. berikut ini.



Gambar. 2.8. Koefisien *extinction* partikel yang dihitung dengan teori Mie

Dari gambar di atas dapat dikatakan bahwa osilasi pada $\alpha_{ex}(a', m)$ terhadap diameter dapat diinterpretasikan sebagai interferensi antara cahaya yang lewat sebuah partikel dengan cahaya yang tidak melalui partikel. Dan jika diameter partikel jauh lebih besar dari α , maka koefisien *extinction* tidak lagi terpengaruh oleh semua frekwensi cahaya tampak dan akan dihamburkan dengan intensitas yang sama ke segala arah.

Teori Mie ini menghitung koefisien *extinction* sebagai fungsi dari panjang gelombang. Sedangkan Yamamoto dan Tanaka menggunakan teknik yang lebih mendasar, yaitu dengan pemecahan simultan dari beberapa persamaan diferensial. Persamaan tersebut berbentuk :

$$\alpha_{ex}(\lambda) = \int_0^{\infty} \pi r^2 \alpha_{ex}(a', m) n(r) dr \quad (2.16)$$

dimana :

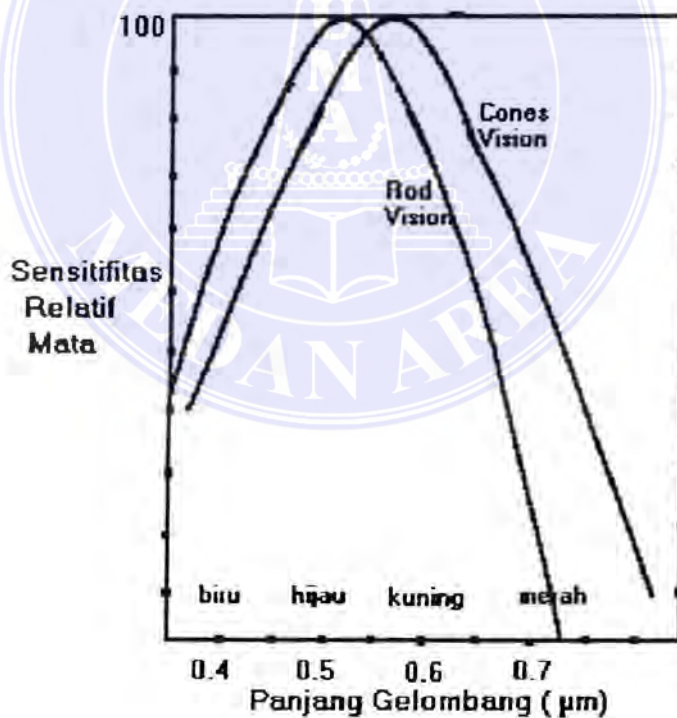
$n(r)$ = Distribusi ukuran partikel

$\alpha_{ex}(a', m)$ dihitung dari teori Mie dan, $\alpha_{ex}(\lambda)$ diukur secara eksperimen atau dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.3.), yaitu :

$$\alpha_{ex}(\lambda) = 1/x (\ln I_0 - \ln I) \quad (2.17)$$

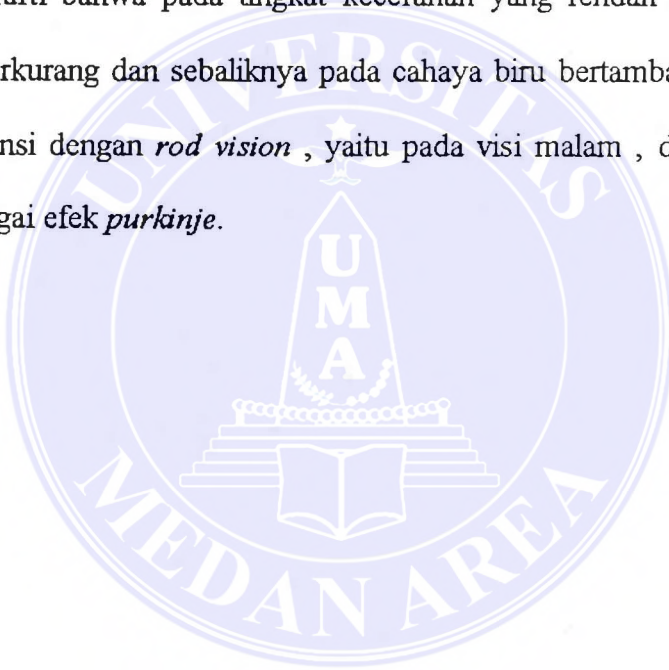
II.6. Kepekaan Penglihatan

Mata manusia mempunyai tanggapan atau respon yang berbeda pada panjang gelombang tertentu. Pada warna – warna tertentu kepekaan atau sensitifitas penglihatan ini juga akan terpengaruh.



Gambar. 2.9. Kurva spektrum sensitifitas untuk mata normal

Pada Gambar 2.9. di atas ini akan terlihat sensitifitas mata manusia sebagai fungsi warna. Kurva ini menyatakan bahwa mata secara biologis tidak mempunyai sensitifitas yang sama terhadap semua warna tetapi mempunyai sensitifitas maksimum pada panjang gelombang sekitar $0.55 \mu\text{m}$, yaitu warna kuning – hijau. Kurva ini berlaku pada kecerahan normal. Pada kondisi ini mata berespons dengan *cones vision* (visi siang). Apabila kecerahan dikurangi menjadi kecerahan yang sama untuk setiap warna , maka harganya akan bergeser ke kiri dengan harga maksimum $0.52 \mu\text{m}$. Ini berarti bahwa pada tingkat kecerahan yang rendah sensitifitas pada cahaya merah berkurang dan sebaliknya pada cahaya biru bertambah. Pada kondisi ini mata berespons dengan *rod vision* , yaitu pada visi malam , dan peristiwa ini dikenal juga sebagai efek *purkinje*.



BAB. III

RANCANGAN PERANGKAT

III.1. Prinsip Pengukuran

Dalam studi perangkat ukur optik ini pada prinsipnya mencoba menerapkan rumus Beer – Lambert dengan metode pengukuran absorpsi langsung ke dalam rancangan suatu alat untuk mengukur jarak pandang mendatar (*visibility*). Dimana dengan ini dapat dicari atau diukur koefisien *extinction* , sehingga dapat diketahui dan diukur jarak pandang mendatar suatu obyek.

Prinsip dasar pengukuran jarak pandang mendatar (*visibility*) ini , yaitu : dengan dilewatkannya seberkas cahaya pada ruang ukur. Cahaya yang diteruskan dideteksi oleh fotodetektor , yang selanjutnya sinyal cahaya ini diubah menjadi sinyal listrik. Besaran listrik ini kemudian diperkuat dan diubah ke frekwensi untuk menghasilkan pulsa – pulsa yang kerapatannya sebanding dengan tegangan yang masuk. Kemudian pulsa – pulsa tersebut dihitung dengan counter dan hasilnya ditunjukkan dalam bentuk desimal oleh 5 buah peraga tujuh segmen. Dan harga yang ditunjukkan merupakan jarak benda yang dapat dilihat dengan jelas oleh mata normal dalam selang waktu tertentu.

III.2. Penjejak Cahaya dan Deteksi Partikel

Untuk mendeteksi intensitas cahaya yang ditransmisikan diperlukan suatu komponen penjejak cahaya. Komponen tersebut adalah fotodetektor, yang juga berfungsi untuk mengubah sinyal cahaya menjadi sinyal listrik.

Fotodetektor yang digunakan harus memiliki sifat – sifat sebagai berikut :

- 1) Memiliki kepekaan yang tinggi, agar dapat mendeteksi perubahan intensitas cahaya yang rendah.
- 2) Mempunyai tanggap waktu yang cukup pendek.
- 3) Memiliki kestabilan tinggi untuk jangka waktu yang lama.
- 4) Mempunyai tingkat noise yang rendah.
- 5) Memiliki linieritas antara besaran listrik yang dihasilkan dengan intensitas cahaya datang.

Fotodetektor merupakan bagian yang sangat penting dari sistem perangkat ukur optik ini. Oleh sebab itu pemilihan fotodetektor yang akan digunakan akan sangat menentukan. Dan untuk memenuhi syarat – syarat fotodetektor seperti tersebut di atas pada prakteknya cukup sulit, maka dipilih fotodioda yang mendekati dengan sifat – sifat tersebut.

Di pasaran saat ini sudah ada fotodioda yang mendekati sifat – sifat tersebut diatas, yaitu fotodioda tipe BPW-21P. Fotodioda ini sangat sesuai untuk cahaya yang visibel. Fotodioda tipe BPW-21P ini memiliki spesifikasi, antara lain :

- 1) Memiliki tegangan balik (*reverse voltage*) DC sebesar 15 Volt.

- 2) Puncak arus DC 10 mA.
- 3) *Storage* dan *operating temperature* antara -25°C sampai 85°C .

Selain itu fotodiode tipe BPW-21P ini juga mempunyai karakteristik sebagai berikut :

- 1) Daerah sensitifitasnya 7.7 mm^2 .
- 2) Dimensi area sebesar $2.92\text{ mm} \times 2.64\text{ mm}$.
- 3) Puncak panjang gelombangnya 550 nm .
- 4) Responsifitas sebesar $7\text{ nA Lux}^{-0.1}$.
- 5) Memiliki dark current 2 nA pada tegangan 10 Volt .
- 6) Kapasitansi pada tegangan 0 Volt sebesar 80 pF .
- 7) Memiliki resistansi shunt sebesar $50\text{ M}\Omega$.
- 8) *Rise and fall time* sebesar 20 ns pada 50 Volt 50 ohm .

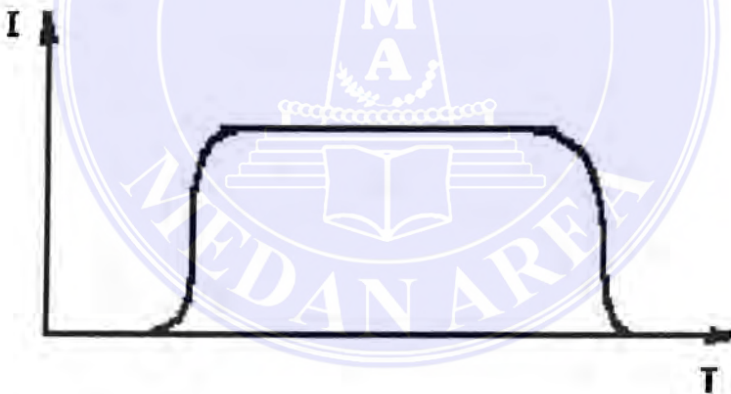
Dalam rancangan perangkat ukur optik jarak pandang mendatar ini digunakan sistim pendeteksian partikel dengan metode absorpsi dari radiasi elektromagnetik yang ditransmisikan melalui media ukur. Dengan metode ini diharapkan tidak ada nois cahaya dari luar.

Cahaya yang ditransmisikan oleh media ukur diharapkan memiliki karakteristik sebagai berikut :

- a) Intensitas yang ditransmisikan harus cukup , sehingga perubahan sedikit dari intensitas dapat dideteksi.

- b) Sumber cahaya yang digunakan mudah diperoleh dan relatif murah.
- c) Sederhana dalam penyusunannya.

Sumber berkas cahaya yang digunakan adalah berkas cahaya yang sejajar. Hal ini diharapkan agar jika berkas ini mengenai partikel yang bergerak memotong berkas dengan arah potongan sembarang, maka pola distribusi intensitas cahaya yang dihamburkan akan mempunyai pola yang seragam pada setiap kedudukan dalam berkas cahaya. Ini dapat terjadi karena berkas cahaya yang mengenai partikel memiliki orientasi yang sama. Pada Gambar 3.1 di bawah ini ditunjukkan intensitas yang dihamburkan oleh N partikel yang melintasi berkas diamati pada setiap titik.



Gambar. 3.1 Respon intensitas yang dihamburkan dari berkas sejajar

Penggunaan berkas cahaya sejajar memungkinkan untuk mendeteksi cahaya hamburan pada sudut tertentu , yang intensitas hamburan pada sudut tersebut terbesar.

III.3. Bagian – Bagian Perangkat

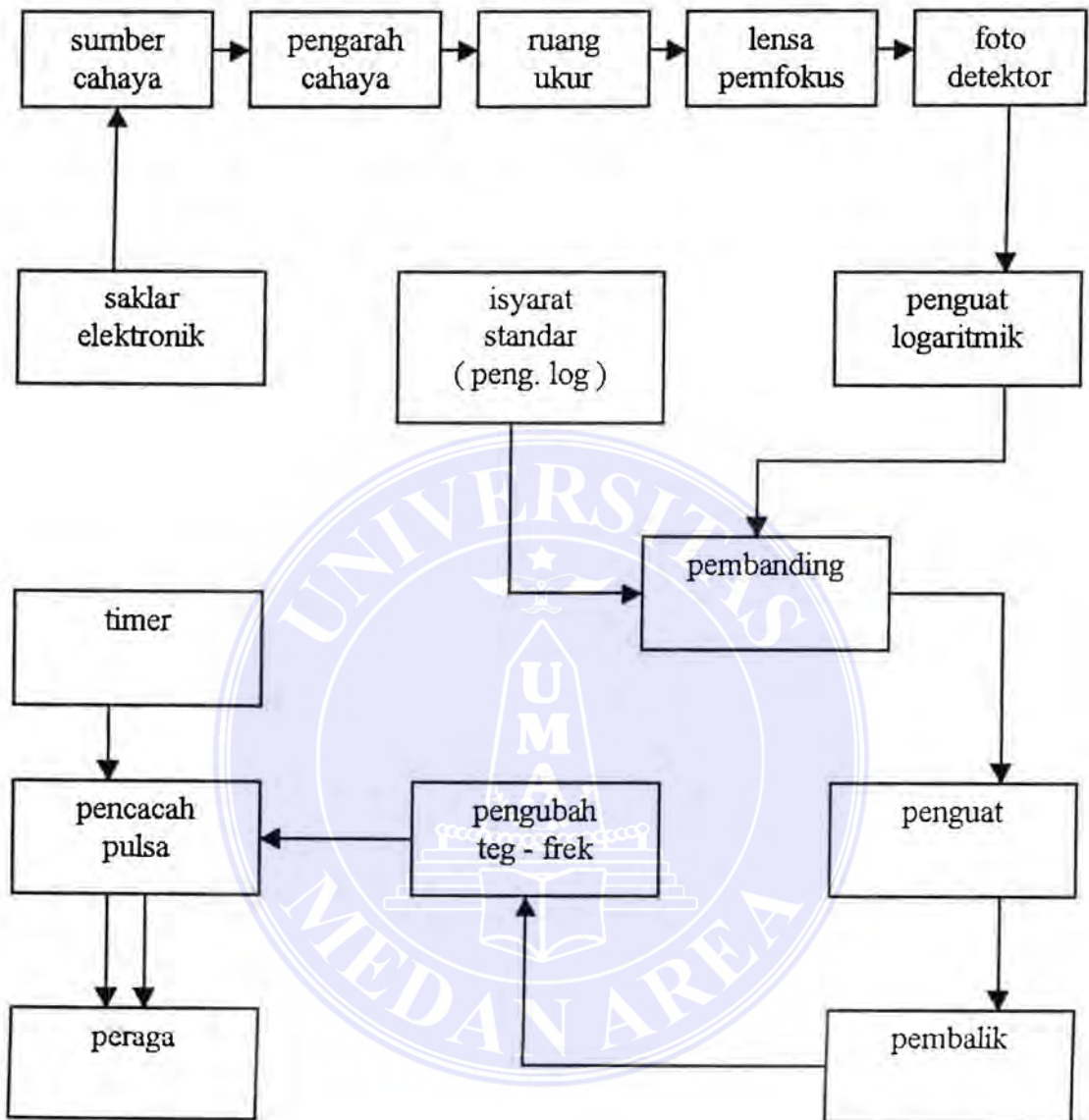
Pengukuran jarak pandang mendatar dengan prinsip absorpsi ini memerlukan peralatan – peralatan , yang dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian , yaitu :

- 1) Bagian optik (sumber cahaya dan pengarah cahaya)
- 2) Bagian fotodetektor dengan rangkaiannya.
- 3) Bagian penghitung interval waktu (*time counter*).

III.3.1. Sistem Perangkat

Perangkat ukur optik ini memiliki suatu sistem dalam hubungan rangkaian yang mengatur kerja dari alat tersebut. Rangkaian sistem yang dimulai dari pendeteksian cahaya yang ditransmisikan oleh media atau ruang ukur , kemudian diubah ke bentuk sinyal listrik yang selanjutnya dikuatkan dan diubah ke frekwensi yang menghasilkan pulsa – pulsa , hingga kemudian diolah menjadi harga visibilitas (jarak pandang mendatar) yang ditunjukkan dengan peraga.

Jika digambarkan dalam suatu blok diagram rangkaian secara keseluruhan , maka dapat ditunjukkan pada Gambar 3.2. berikut ini.



Gambar. 3.2. Blok diagram rangkaian

III.3.2. Sistem Optik

Sistem optik ini merupakan bagian terpenting dari keseluruhan perangkat. Oleh karena itu perlu dirancang sistem optik yang kecil derau atau gangguannya. Usaha agar intensitas yang ditransmisikan dapat dideteksi dengan baik dilakukan dengan memperkecil intensitas latar belakang, sehingga akan menentukan ketelitian yang dapat dicapai oleh perangkat.

Penggunaan sumber cahaya dan penyusunan sistem lensa untuk mendapatkan berkas cahaya yang diharapkan merupakan hal yang termasuk dalam sistem optik ini. Selanjutnya untuk menghilangkan berkas – berkas cahaya yang dapat mengganggu penerimaan detektor akibat adanya pantulan berkas oleh dinding – dinding dalam tabung dudukan perangkat optik, maka diberikan suatu peredam cahaya pantul dengan menggunakan flat berwarna hitam pada dinding – dinding bagian dalam tabung. Dengan demikian juga diharapkan noise atau derau dari cahaya yang datang di luar sumber cahaya dapat diperkecil.

III.3.2.1. Sumber cahaya

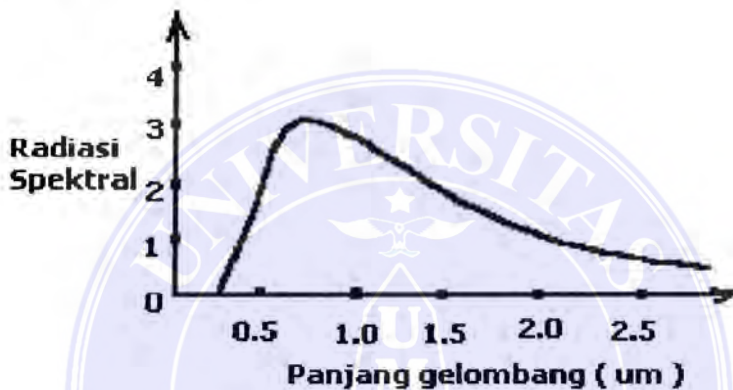
Dalam memilih pemakaian sumber cahaya yang akan digunakan, perlu dipertimbangkan hal – hal berikut ini :

1. Sumber tegangan yang diperlukan maksimum 12 Volt.
2. Mempunyai dimensi yang relatif kecil.
3. Memiliki intensitas yang tinggi.
4. Spektrum cahayanya kuat pada daerah cahaya tampak.
5. Mudah dalam mendapatkan atau memperolehnya.

6. Harganya sebisa mungkin relatif murah.

Berdasarkan pertimbangan di atas , maka sumber cahaya yang paling sesuai digunakan adalah lampu tungsten jenis BRL A1/220 buatan Jerman dengan sumber tegangan 12 volt dan daya 50 watt.

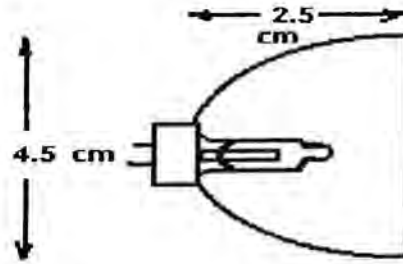
Pada Gambar 3.3 di bawah ini ditunjukkan karakteristik dari lampu tungsten pada temperatur 2890° K.



Gambar. 3.3. Karakteristik lampu tungsten (J.A. Mauro)

Lampu tungsten ini sering digunakan pada lampu – lampu kendaraan. Penggunaan lampu tungsten ini menguntungkan karena spektrum cahaya yang dihasilkan kuat pada daerah cahaya tampak , yaitu pada panjang gelombang $0.66 \mu\text{m}$. Hal ini sesuai dengan karakteristik fotodetektor yang digunakan untuk mendeteksi cahaya hamburan.

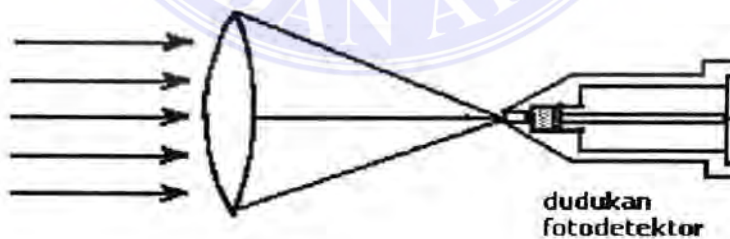
Bentuk fisik dari lampu tungsten secara lengkap dengan reflektor dan ukurannya , dapat dilihat pada Gambar 3.4. berikut ini.



Gambar. 3.4. Bentuk lampu tungsten

III.3.2.2. Sistem Pengarah Cahaya

Berkas cahaya yang diharapkan pada perangkat ukur ini adalah berkas cahaya yang terfokus untuk mendapatkan berkas cahaya hamburan. Cahaya yang ditransmisikan, sebelum dideteksi oleh fotodetektor terlebih dahulu difokuskan oleh sebuah lensa cembung. Hal ini juga dilakukan agar intensitas yang diterima oleh fotodetektor menjadi relatif cukup besar. Untuk lebih jelasnya perhatikan Gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar. 3.5. Berkas cahaya yang difokuskan

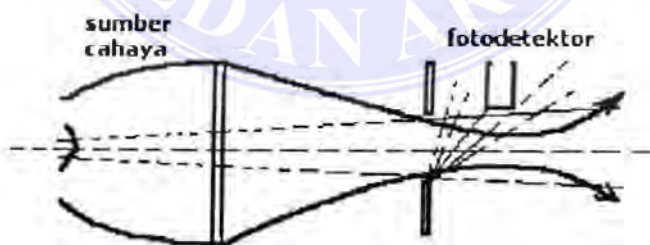
Sebenarnya berkas cahaya yang dihasilkan tidak memerlukan lagi lensa untuk memfokuskan, karena sumber cahaya dapat langsung mengenai fotodetektor. Tetapi karena adanya beberapa pertimbangan maka penambahan lensa tersebut juga diperlukan. Pertimbangan tersebut antara lain :

- a) Adanya pengaruh panas akibat sumber cahaya.

Diperlukannya untuk menjaga kestabilan temperatur lampu yang menghasilkan panas yang relatif cukup tinggi, sehingga dikhawatirkan akan mempengaruhi proses pendeteksian.

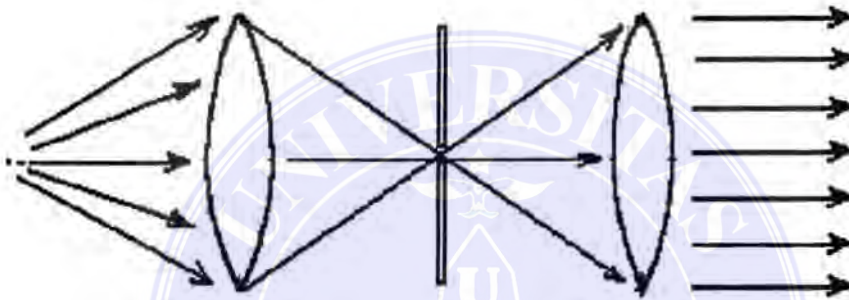
- b) Jarak fokus.

Hal ini dilakukan untuk menghindari sudut berkas yang difokuskan terlalu besar, sehingga akan menimbulkan kesulitan dalam memisahkan dengan berkas yang tidak diperlukan, yaitu akibat pantulan berkas pada sisi plat yang digunakan untuk memblok berkas yang sampai ke fotodetektor (lihat Gambar 3.6).



Gambar. 3.6. Gangguan berkas cahaya pada fotodetektor

Selain berkas cahaya yang terfokus pada fotodetektor, pada perangkat ukur ini juga mengharapkan berkas cahaya yang sejajar. Untuk menghasilkan berkas cahaya yang sejajar ini digunakan dua buah lensa cembung yang dipasang paralel, dengan jarak dua kali titik fokus lensa (jika kedua lensa mempunyai jarak titik fokus yang sama). Jika digambarkan susunan lensanya seperti di bawah ini.



Gambar. 3.7. Penempatan 2 buah lensa untuk menghasilkan berkas sejajar

III.3.2.3. Menghilangkan Berkas Cahaya Luar

Mengingat bahwa keseluruhan sistem optik ini kecuali sumber cahaya dan lensa penyearah, berada dalam satu sistem yang terpisah. Dimana sistem ini terpisah dengan sistem fotodetektor dan lensa pemfokus yang dipisahkan oleh ruang ukur. Maka akan ada berkas cahaya dari luar (latar belakang) dan pantulan dari dudukan sistem yang mungkin terdeteksi. Untuk mengurangi adanya intensitas latar belakang

yang dapat diterima oleh fotodetektor ini , maka berkas cahaya luar yang tidak dikehendaki tersebut harus diredam atau dihilangkan.

Ada beberapa cara bisa dilakukan untuk meredam atau menghilangkan berkas cahaya luar yang tidak diinginkan itu , antara lain :

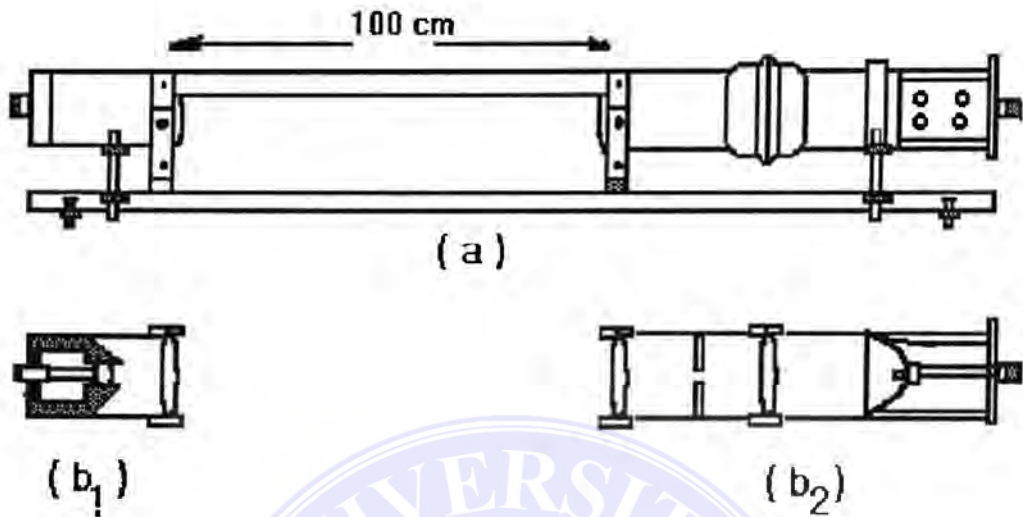
1) Menghilangkan cahaya latar belakang.

Untuk menghilangkan berkas cahaya yang berada di luar daerah ukur agar tidak terdeteksi oleh fotodetektor , terutama yang berasal dari latar belakang sumber cahaya dan dari atas , maka di sekitar sumber cahaya dapat di pasang penghalang yang besarnya disesuaikan dengan sudut pandang fotodetektor. Pada penghalang bagian atas diberi warna hitam flat.

2) Menghilangkan pantulan dari dudukan sistem.

Sama seperti untuk penghilangan cahaya latar belakang , maka penghilangan pantulan dari dudukan sistem dapat dilakukan dengan memberi warna hitam flat pada semua bagian yang kemungkinan besar dapat memberikan pantulan yang terdeteksi oleh fotodetektor.

Rancangan bagian optik dari perangkat ukur ini dapat digambarkan seperti pada Gambar 3.8. berikut ini.



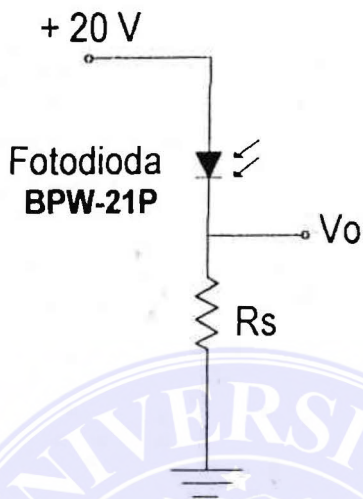
Gambar.3.8. Bentuk visual bagian optik
(a = bagian luar , b_1, b_2 = bagian dalam)

III.3.3. Sistem Elektronik

Sistem elektronik ini meliputi bagian – bagian rangkaian , dari rangkaian fotodetektor yang mendeteksi cahaya hamburan , kemudian rangkaian penguat logaritmik , rangkaian pembanding , rangkaian penguat biasa , rangkaian pembalik , rangkaian pengubah tegangan ke frekwensi , hingga rangkaian pencacah (counter). Juga termasuk rangkaian saklar elektronik dan sumber daya.

III.3.3.1. Rangkaian Fotodetektor

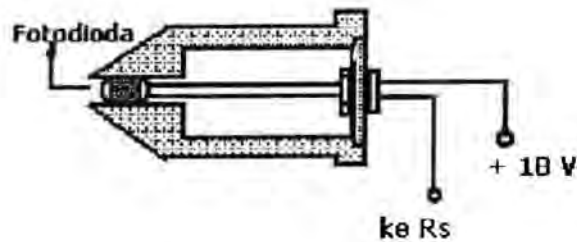
Rangkaian fotodetektor ditunjukkan pada Gambar 3.9 di bawah ini .



Gambar. 3.9. Rangkaian fotodetektor

Arus keluaran dari fotodioda perlu diubah menjadi tegangan. Hal ini dilakukan untuk mempermudah pengolahan sinyal listrik yang dihasilkan oleh fotodioda tersebut. Perubahan arus menjadi tegangan dapat dilakukan dengan memasang tahanan (R_s) sebesar 500 ohm, seri dengan fotodioda.

Selanjutnya rangkaian fotodetektor ini dimasukkan ke dalam suatu dudukan yang berbentuk silinder berongga (lihat Gambar 3.10).



Gambar. 3.10. Dudukan fotodetektor.

III.3.3.2. Rangkaian Penguat Logaritmik

Rangkaian penguat logaritmik ini berfungsi untuk mengubah besaran linier menjadi besaran logaritmik. Rangkaian ini merupakan rangkaian Op Amp yang bekerja dengan memanfaatkan karakteristik volt-ampere dioda, dengan tujuan menyelesaikan persamaan Beer Lambert. Dimana karakteristik volt – ampere dinyatakan dengan persamaan :

$$I_f = I_s \left(e^{\frac{V_f}{\eta V_T}} - 1 \right) \quad (3.1)$$

dimana :

I_f = arus dioda

V_f = tegangan dioda

V_T = tegangan sebanding temperatur

I_s = arus balik saturasi

η = bilangan yang tergantung dari jenis dioda (dioda germanium = 1 ,

dioda silikon = 2)

Jika $V_f / \eta V_T$ jauh lebih besar dari 1, atau I_f jauh lebih besar dari I_s , maka :

$$V_f = \eta V_T (\ln I_f - \ln I_s) \quad (3.2)$$

dan jika $I_f = I_r = V_i / R$, maka didapat :

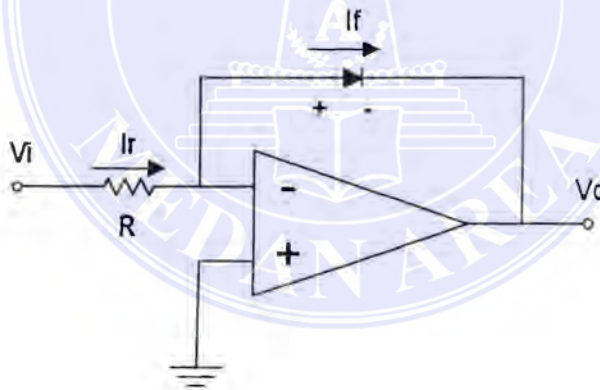
$$V_o = -V_f = -\eta V_T (\ln V_i/R - \ln I_s) \quad (3.3)$$

dimana :

V_i = tegangan input

V_o = tegangan output

Pada gambar di bawah ini, dapat ditunjukkan rangkaian dasar penguat logaritmik.

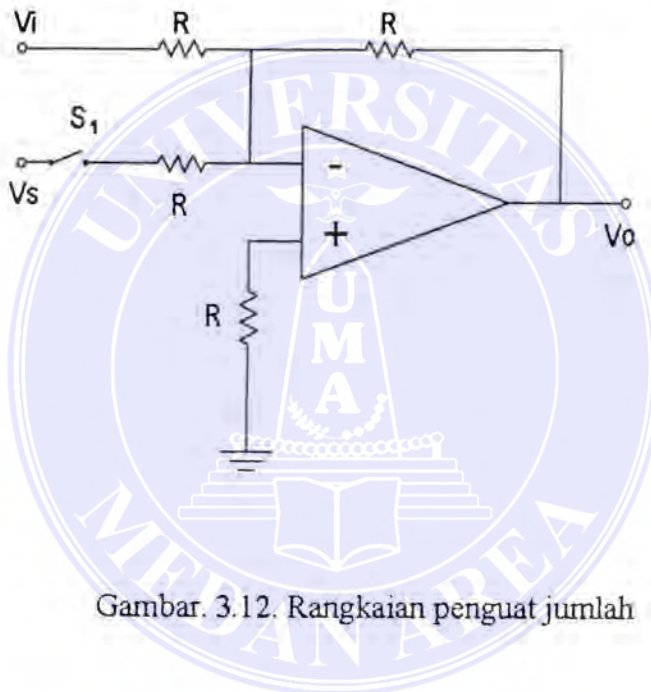


Gambar. 3.11. Rangkaian penguat logaritmik

III.3.3.3. Rangkaian Pembanding

Rangkaian pembanding ini berfungsi untuk membandingkan (menjumlahkan) antara tegangan input dengan tegangan standar yang sebanding dengan keadaan tanpa partikel. Agar rangkaian ini dapat berfungsi sebagai rangkaian penjumlah , maka harga tegangan standar dibuat negatif.

Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.12. berikut ini.



Gambar. 3.12. Rangkaian penguat jumlah

Hubungan rangkaian penguat ini adalah :

$$V_o = V_s - V_i \quad (3.4.)$$

dimana :

V_i = tegangan input

V_o = tegangan output

V_s = tegangan standar (dalam keadaan tanpa partikel)

III.3.3.4. Rangkaian Penguat

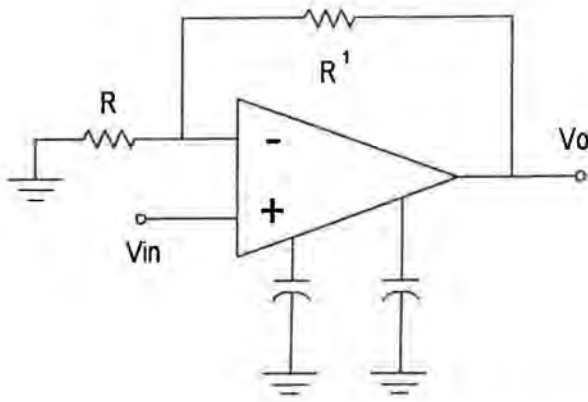
Rangkaian penguat ini berfungsi untuk menguatkan sinyal keluaran atau sinyal output yang dihasilkan oleh rangkaian pembanding. Oleh karena sinyal keluaran tersebut masih lemah sehingga perlu diolah kembali oleh rangkaian penguat ini.

Pengukuran yang tepat dan teliti hanya bisa didapatkan dengan penguat yang baik. Dimana penguat yang baik tersebut harus memenuhi syarat – syarat tertentu , antara lain :

1. Memiliki respon frekwensi yang cukup lebar.
2. Mempunyai gangguan atau nois yang rendah.
3. Mempunyai *drift* yang rendah juga.
4. Mampu memperkuat sinyal dc atau ac beberapa kali.
5. Tidak menarik arus yang terlalu besar.

Untuk mendapatkan penguat memenuhi persyaratan tersebut , dapat dibuat suatu rangkaian penguat yang dibentuk dengan Op Amp , dimana menggunakan IC OP Amp jenis FET tipe LF 355H. Dengan penggunaan jenis ini diharapkan dapat diperoleh impedansi input yang tinggi dan menarik arus yang rendah , koefisien *driftnya* juga rendah dan tentunya nois yang rendah juga.

Gambar rangkaian penguat tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.13. berikut ini.



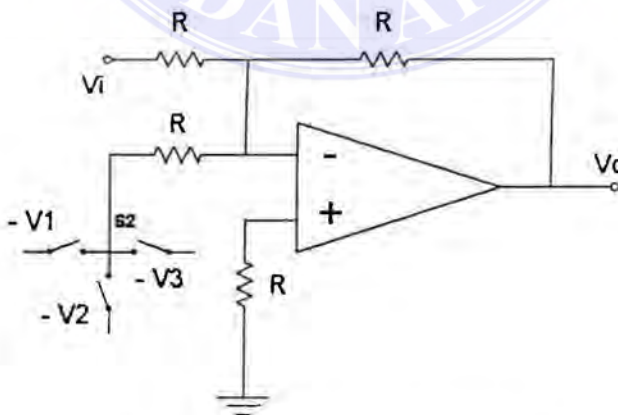
Gambar. 3.13. Rangkaian penguat

Fungsi alih rangkaian di atas adalah :

$$V_o = V_m \left(1 + \frac{R^1}{R} \right) \tag{3.5}$$

III.3.3.5. Rangkaian Pembalik

Untuk mendapatkan rangkaian yang sesuai dengan persamaan 2.14 cukup sulit. Oleh karena itu diperlukan rangkaian yang mendekatinya , yaitu : rangkaian pembalik. Rangkaian pembalik ini dapat dikatakan sebagai interpolasi data.



Gambar.3.14. Rangkaian pembalik

Rangkaian di atas mempunyai fungsi alih, sebagai berikut :

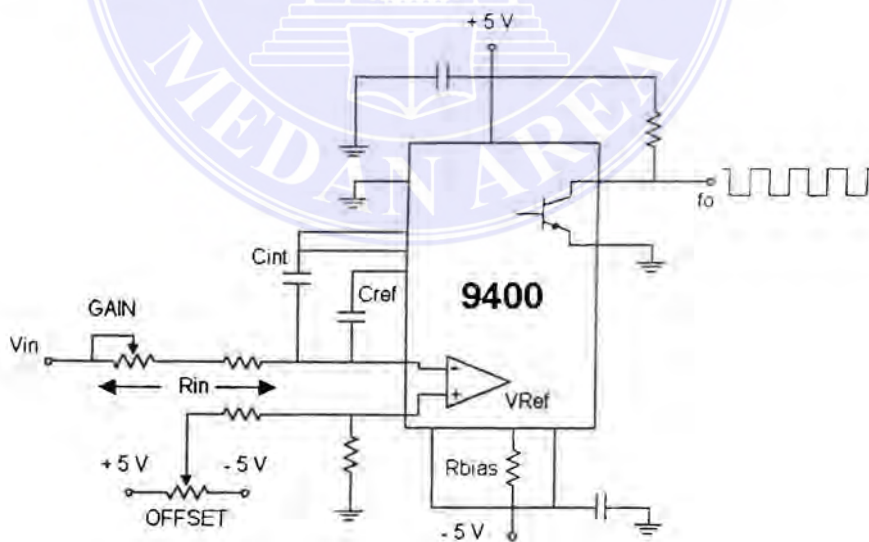
$$V_o = V_R - V_i \quad (3.6)$$

dimana : $V_R = V_1, V_2$ atau V_3

V_i = Tegangan input dari rangkaian pembalik

III.3.3.6. Rangkaian Pengubah Tegangan ke Frekwensi

Tegangan output yang dihasilkan rangkaian pembalik agar dapat diragakan atau ditunjukkan oleh counter , maka terlebih dahulu harus dirubah menjadi frekwensi. Besarnya frekwensi ini harus sesuai dengan perubahan tegangan yang diberikan. Untuk memenuhi kebutuhan ini dapat digunakan IC 9400 yang dijadikan komponen utama. Rangkaian tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar. 3.15.



Gambar. 3.15. Rangkaian pengubah tegangan ke frekwensi

Sinyal output dari rangkaian di atas , jika ditulis dalam persamaan adalah sebagai berikut :

$$V_o = (V_{in}) \frac{1}{R_{in} V_{Ref} C_{Ref}} \quad (3.7)$$

dimana :

V_{Ref} = supply negatif

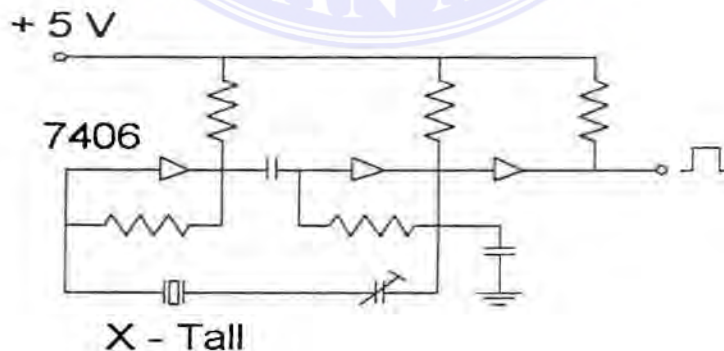
$C_{Ref} = \frac{1}{4} C_{int}$

III.3.3.7. Rangkaian Pencacah

Rangkaian pencacah ini digunakan untuk menghitung jumlah pulsa atau frekwensi yang dihasilkan oleh rangkaian pengubah tegangan ke frekwensi. Rangkaian ini terdiri dari tiga komponen pokok , yaitu :

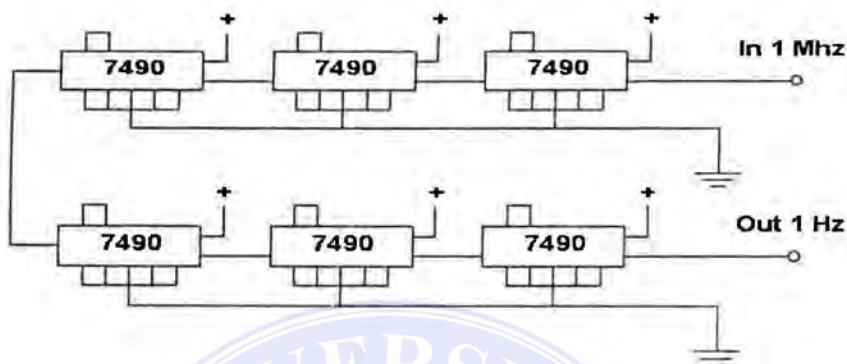
- 1) Osilator dan pembagi frekwensi (*time base frequency divider*).

Komponen utama osilator adalah X-tal 1 Mhz sebagai sumber pulsa. Untuk memperhalus pulsa – pulsa yang dihasilkan , maka dapat digunakan IC 7406 dan kapasitor variabel sebagai pengatur besar frekwensi yang dihasilkan X-tal.



Gambar.3.16.a. Rangkaian osilator

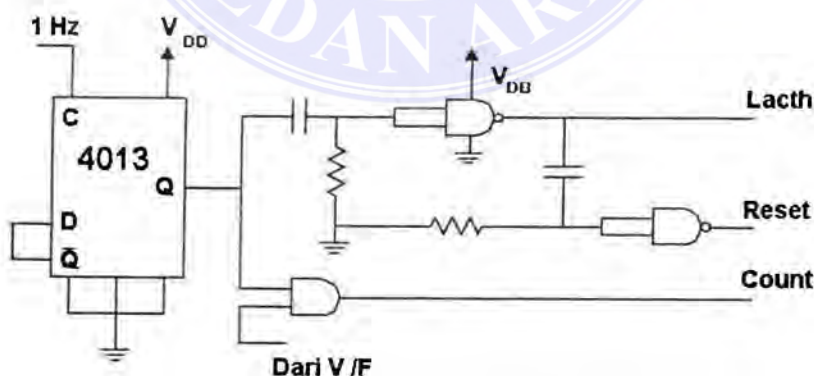
Sumber pulsa yang diharapkan sebesar 1 Hz , untuk itu diperlukan rangkaian pembagi frekwensi 10^6 . Untuk keperluan ini dapat digunakan 6 buah IC 7490. Lebih jelasnya lihat Gambar 3.16.b di bawah ini.



Gambar.3.16.b. Rangkaian pembagi 10^6

2) Simple rate reset dan latch trigger.

Untuk menghasilkan pulsa reset dan latch trigger dapat digunakan rangkaian berikut ini.



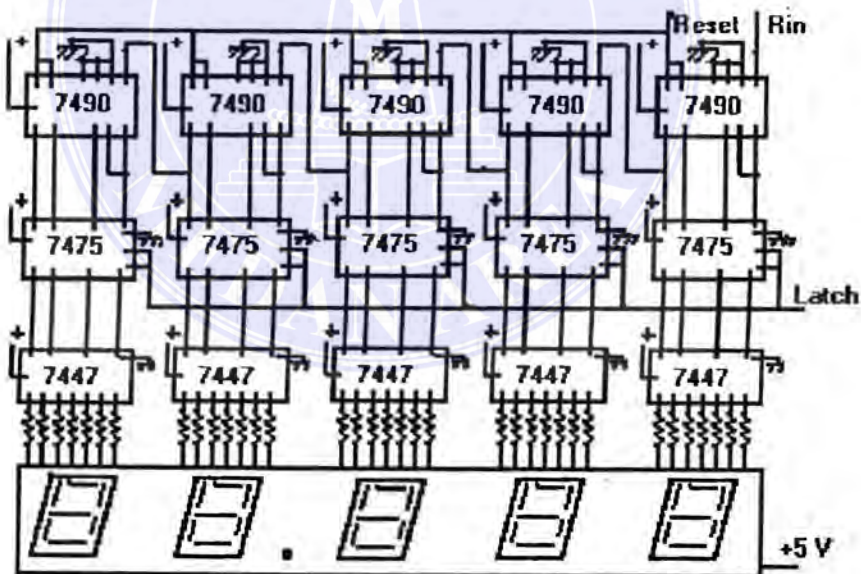
Gambar.3.17. Rangkaian simple rate reset dan latch trigger

Pulsa latch berguna untuk mengatur hitungan pertama dengan hitungan berikutnya. Reset berfungsi untuk mereset atau menghapus data pertama yang telah dihitung jika data berikutnya muncul. Sedangkan count merupakan input dari jumlah pulsa yang akan dihitung, yaitu pulsa dari pengubah tegangan ke frekwensi yang besarnya dibatasi oleh pulsa dari osilator.

Untuk variasi proses kerja dari latch, reset dan count digunakan IC 4013 dan IC 7400.

3) Rangkaian BCD (*Binary Coded Decimal*).

Rangkaian BCD ini berfungsi untuk meragakan hasil perhitungan dari jumlah pulsa yang dihasilkan oleh count ke dalam bentuk desimal.

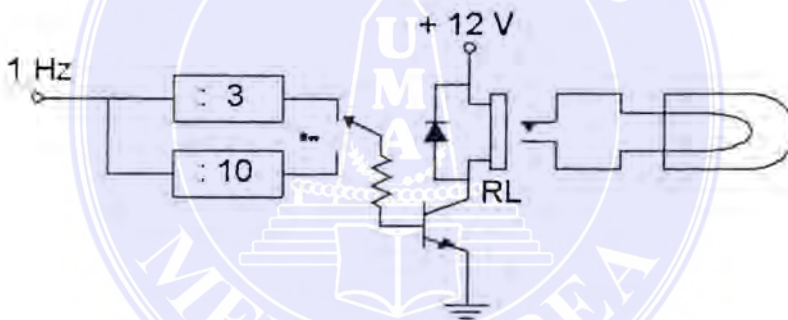


Gambar.3.18. Rangkaian BCD

III.3.3.8. Rangkaian Saklar Elektronik

Saklar elektronik ini digunakan untuk mengatur sumber cahaya agar menyala teratur dengan baik (berulang dengan waktu yang tetap). Sumber cahaya atau lampu dibuat berkedip selama waktu tertentu dimaksudkan agar panas yang ditimbulkan oleh lampu dapat dikurangi. Saklar ini juga berfungsi untuk menghidupkan dan mematikan lampu dalam waktu tertentu. Selain itu juga untuk mengatur tegangan standar pada rangkaian pembanding dan pembalik.

Untuk pemilihan saklar elektronik dapat digunakan 3 buah relai 12 volt yang dikendalikan oleh pulsa 10 dan 30 detik yang digunakan untuk membangkitkan transistor sehingga relai dapat bekerja.



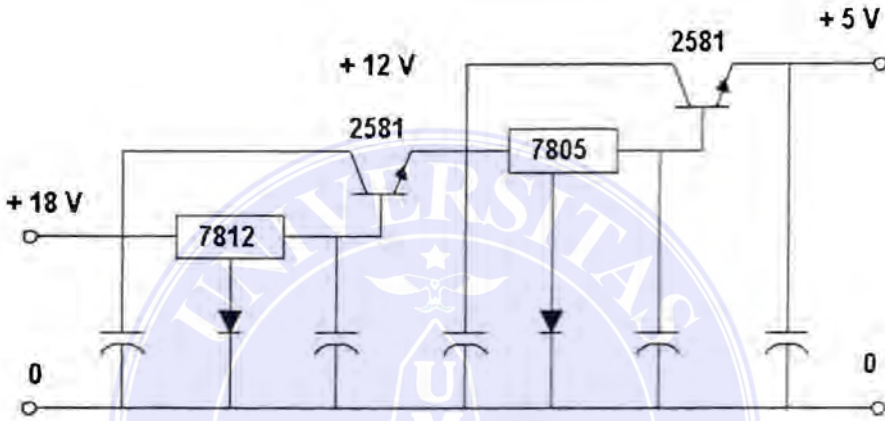
Gambar. 3.19. Rangkaian saklar elektronik

III.3.3.9. Rangkaian Sumber daya

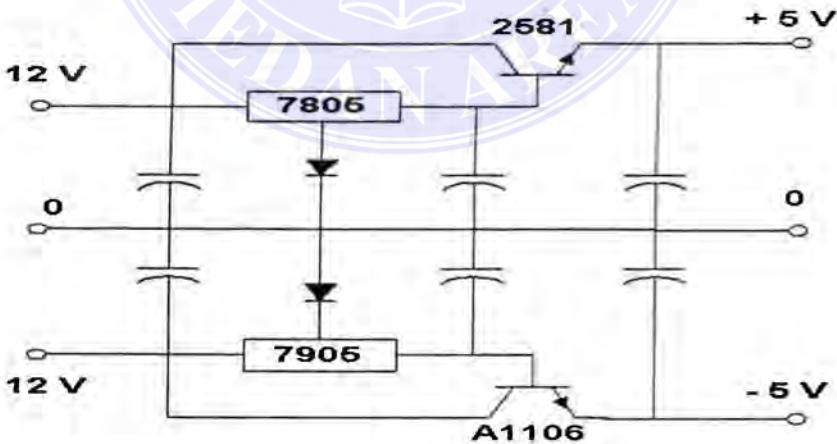
Sumber daya yang digunakan memerlukan tegangan suplai yang berbeda-beda. Untuk lampu dan saklar elektronik memerlukan suplai 12 volt, sedangkan pencacah memerlukan 5 volt, untuk rangkaian fotodetektor memerlukan 20 volt,

untuk rangkaian pengubah tegangan ke frekwensi dan rangkaian penguat membutuhkan lebih kurang 5 volt.

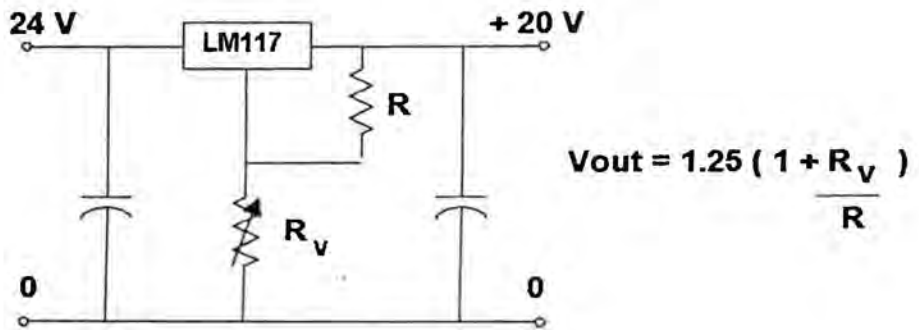
Variasi suplai tegangan ini bisa didapatkan dengan menggunakan beberapa buah regulator , kecuali untuk rangkaian fotodetektor digunakan IC LM117HV. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 3.20. berikut.



Gambar.3.20.a. Rangkaian sumber daya untuk lampu dan counter



Gambar.3.20.b. Rangkaian sumber daya untuk penguat dan pengubah tegangan



Gambar.3.20.c. Rangkaian sumber daya untuk rangkaian fotodetektor



BAB. V

PENUTUP

V.1. Kesimpulan

Dari analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Untuk mengukur jarak pandang mendatar secara optik di atmosfer , dapat digunakan metode absorpsi langsung dengan mengacu pada rumus Beer – Lambert dan Koschmeider.
2. Ketelitian hasil pengukuran tergantung dari sumber cahaya , perangkat elektronik dan detektor yang digunakan.
3. Konsentrasi partikel di atmosfer merupakan salah satu unsur penentu kesalahan dalam pengukuran.
4. Rangkaian pembalik merupakan rangkaian interpolasi data yang memiliki linieritas.

V.2. Saran

1. Pada sistem perangkat ukur ini dapat digunakan sumber cahaya yang monokromatik.
2. Penyesuaian karakteristik fotodetektor dengan sumber cahaya yang digunakan sangat diperlukan.

3. Masih dibutuhkan beberapa pengujian dan kalibrasi terhadap rangkaian – rangkaian yang digunakan dalam rancangan perangkat ukur.
4. Juga akan lebih baik lagi , apabila hasil pengukuran yang dihasilkan dapat dihubungkan atau diragakan dengan menggunakan PC (komputer).
5. Agar pada masa yang akan datang alat ukur jarak pandang mendatar secara optik ini dapat diwujudkan dan dikembangkan dalam bidang pengamatan cuaca dan penelitian pencemaran udara.



DAFTAR PUSTAKA

- Byer ,HR, “ **General Meteorology** “ , Mc Graw Hill Book Company ,
New York , 1959
- F. A. BERRY Jr , E. BOLLAY and NORMAN R. BEERS , “ **Handbook of
Meteorology** “, New York Mcgraw Hill Book Company
- John C. Johnson , “ **Physical Meteorology** “ , The M.I.T. Press , Massachusetts
Institute Of Technology Cambridge , Massachusetts , 1953.
- Joseph Morgan, Ph. D , “ **Introduction to Geometrical and Physical Optics** “ ,
New York Toronto London, Mac Graw - Hill Book Company, inc 1953.
- Martin Crawford , “ **Air Pollution Control Theori** “ , Tata Mcgraw –Hill
Publishing Company LTD New Delhi.
- Max Garbuny , “ **Optical Physics** “ , University of California Extension , Los
Angeles, 1965
- Sabarti Akhadiah , Maidar G.Arsjad , Sakura H. Ridwan, “ **Pembinaan Kemampuan
Menulis Bahasa Indonesia** “, Cetakan Ketujuh , Penerbit Erlangga , Jakarta ,
1993.
- Soejitno , Ah MG , “ **Dasar – Dasar Pengamatan Meteorologi Permukaan** “ ,
Departemen Perhubungan , Badan Pendidikan dan Latihan , Balai Pendidikan
dan Latihan Meteorologi dan Geofisika , Jakarta 1983
- Soepangkat , Ah MG , “ **Pengantar Meteorologi** “ , Departemen Perhubungan ,
Badan Diklat Perhubungan , Balai Pendidikan dan Latihan Meteorologi dan
Geofisika , Jakarta.

S.T. Womey , “ **Atmospheric Aerosols** “, Eliseiver Scientific Publishing Company,
Amsterdam - Oxford , New York 1977

Walter G.Jung , “ **Ice Converter Cook Book** “, Woward W . Sams and Co. Inc
Indiana Polis , 1978

Wolfgang Link , “ **Pengukuran , Pengendalian , dan Pengaturan dengan PC** ” ,
Praktek Otomasi dengan Pengaturan Numerik , Penerbit PT. Elex Media
Komputindo , Jakarta

..... , “ **Guide to Meteorological Instrument and Observing
Practices** “, Second Edition , Secretariat of The World Meteorological
Organization. Geneva – Switzerland.

..... , “ **Thermo Centrovision Company** “, from website
<http://www.centrovision.com/>

..... , “ **Protection Visibility** “, An EPA Report to Congress ,
Chapter 2 , from CAPITA , Capita Reports , website <http://capita.wustl.edu/>