



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMBUATAN *BEAM SPLITTER* DARI LAPISAN TIPIS
ALUMINIUM DENGAN METODA EVAPORASI VAKUM UNTUK
ALAT BIDIK SENJATA**

TESIS

**BAMBANG HERLAMBAANG
NPM : 1006733410**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM MAGISTER FISIKA INSTRUMENTASI
DEPOK
MEI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMBUATAN *BEAM SPLITTER* DARI LAPISAN TIPIS
ALUMINIUM DENGAN METODA EVAPORASI VAKUM UNTUK
ALAT BIDIK SENJATA**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister

**BAMBANG HERLAMBANG
NPM : 1006733410**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM MAGISTER FISIKA INSTRUMENTASI
DEPOK
MEI 2012**

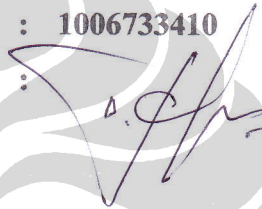
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Bambang Herlambang

NPM : 1006733410

Tanda Tangan :



Tanggal : 30 April 2012



HALAMAN PENGESAHAN


Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Bambang Herlambang
NPM : 1006733410
Program Studi : Fisika Instrumentasi
Judul Tesis : Pembuatan Beam Splitter dari Lapisan Tipis Aluminium dengan Metoda Evaporasi Vakum Untuk Alat Bidik Senjata

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Fisika Instrumentasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr Tony Mulia

()

Pembimbing : Prof (R).Dr. AH. Yadda

()


Penguji : Dr. Prawito

()

Penguji : Prof. Dr. BEF Da Silva

()

Penguji : Dr. Sastra Kusuma Wijaya

()

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 21 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Sains Jurusan Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Universitas Indonesia.

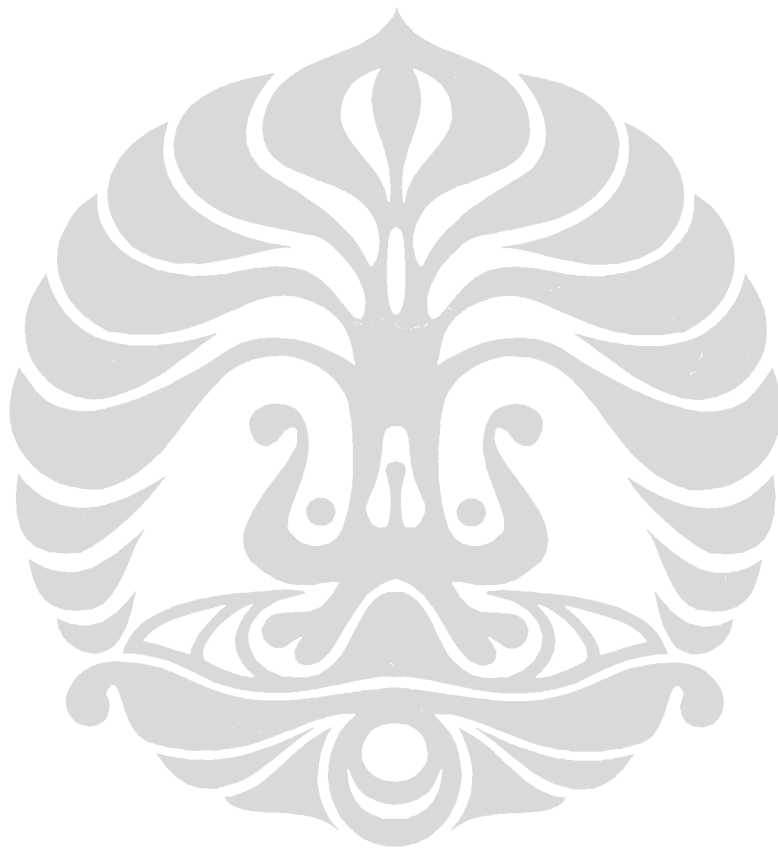
Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Prawito, selaku dosen wali yang banyak memberikan masukan kepada penulis selama menjalani kuliah.
2. Dr Toni Mulya selaku pembimbing I yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini.
3. Prof (R) Dr AH Yadda selaku pembimbing II yang telah memberikan banyak masukan berarti dalam penulisan tesis.
4. Dr Santoso Sukirno, selaku ketua Jurusan Fisika MIPA Universitas Indonesia yang telah membantu dan memberikan banyak masukan mengenai perkuliahan.
5. Prof. Dr. Djarwani selaku konsultan yang telah memberikan bimbingan dan materi dalam penulisan tesis.
6. Dr Ariadne Laksmi Juwono yang telah memberikan bimbingan pelatihan dalam penulisan tesis.
7. Kemeneg Ristek yang telah memberikan bea siswa dan pelatihan penulisan.
8. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
9. Rekan-rekan Fisika Instrumentasi angkatan 2010 yang telah setia menjadi teman selama menjalani kuliah.
10. Sahabat-sahabat saya yang tidak mungkin saya sebutkan satu persatu yang telah banyak memberikan dorongan moril dalam menyelesaikan kuliah saya.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Mei 2012

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Bambang Herlambang
NPM : 1006733410
Program Studi : Fisika Instrumentasi
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

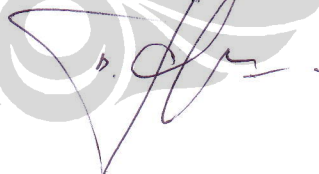
**Pembuatan Beam Splitter dari Lapisan Tipis Aluminium dengan Metoda
Evaporasi Vakum Untuk Alat Bidik Senjata**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilki Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : Mei 2012

Yang menyatakan,



(Bambang Herlambang)

ABSTRAK

Nama : Bambang Herlambang
Program Studi : Fisika Instrumentasi
Judul : Pembuatan *Beam Splitter* dari Lapisan Tipis Aluminium dengan Metoda Evaporasi Vakum Untuk Alat Bidik Senjata

ABSTRAK

Dalam penelitian ini telah dilakukan pembuatan *beam splitter* untuk alat bidik senjata yang dibuat dari lapisan tipis aluminium (Al) dengan empat macam massa yaitu 13, 15, 20, 25, 30 dan 190 mg. Pembuatan lapisan tipis dilakukan dengan metoda evaporasi vakum pada tekanan 10^{-6} torr. Substrat yang digunakan adalah gelas BK7 yang telah dipoles. Lapisan tipis Al diuji durabilitasnya dengan cara menggosok lapisan tipis Al dengan karet penghapus standar sebanyak 20 kali. Untuk mengetahui sifat optik, maka dilakukan pengujian transmitansi substrat gelas BK7, transmitansi dan spektrum cahaya lapisan tipis Al menggunakan spektrofotometer terkalibrasi. Selain itu dilakukan pula pengujian kemampuan *beam splitter* dalam menerima cahaya pada berbagai posisi dengan mengukur dimensi *beam profile* pada posisi *beam splitter* 10, 20, 30 dan 40 cm dan jarak ukur 100, 200 dan 300 m menggunakan sumber cahaya laser hijau 1000 mW 532 nm.

Kata kunci :

Beam splitter, evaporasi vakum, transmitansi dan lapisan tipis optik.

ABSTRACT

Name : Bambang Herlambang
Study Program : Instrumentation Physics
Title : Beam Splitter Fabrication made from Al Thin Films using Vacuum Evaporation Method for Weapon Aiming Devices

Fabrication of beam splitter for weapon aiming device made from Al thin film with four different source masses 13, 15, 20, 25, 30 and 190 mg has been done. The thin film fabrication was made by using vacuum evaporation method at pressure 10^{-6} torr. The substrates used were polished Borosilicate glass (BK7). The films were tested its durability by rubbing the standard eraser on the films for 20 times. A calibrated spectrophotometer was used to obtain optical characteristic of Al films and the substrate including transmittance and spectrum transmittance in visible region (400 - 650 nm). A green laser 1000 mW 532 nm was used as light source to test ability of beam splitter 50/50 and the substrate in receiving light by measuring beam profile dimension at different position and distance.

Keywords :

Beam splitter, vacuum evaporation, transmittance and optical thin films.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
1. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Manfaat Penelitian	5
1.5. Batasan Penelitian	5
1.6. Model Operasional Penelitian	6
2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Beam Splitter	7
2.2. Hubungan Transmisi, Refleksi, Absorpsi dan Hamburan	9
2.3. Reflektansi Batas Tunggal	11
2.4. Sifat Optik Lapisan Tipis Logam	15
2.4. Metoda Evaporasi Vakum	17
2.5. Ketebalan Lapisan Tipis	20
2.6. Adhesi Lapisan Tipis	24

3. METODA PENELITIAN

3.1	Garis Besar Pelaksanaan Eksperimen	28
3.2	Tahap Persiapan	30
3.3	Tahap Pembuatan Substrat	31
3.3.1	Bahan dan Alat yang dipakai	31
3.3.2	Prosedur Pembuatan Substrat	32
3.4	Tahap Pembuatan Lapisan Tipis	33
3.4.1	Bahan dan Alat yang dipakai	33
3.4.2	Pembuatan Lapisan Tipis	34
3.4.2.1	Persiapan Bahan dan Alat	34
3.4.2.2	Evaporasi Material Sumber	39
3.4.2.3	Pembungkusan Sampel	41
3.5	Tahap Pembuatan Fixture	42
3.6	Tahap Pengujian	45
3.6.1	Uji Durabilitas Lapisan Tipis Al	45
3.6.1.1	Peralatan dan Bahan	45
3.6.1.2	Metoda Uji Durabilitas Lapisan Tipis Al	45
3.6.2	Uji Transmisi Gelas BK7	45
3.6.2.1	Peralatan dan Bahan	45
3.6.2.2	Metoda Uji Transmisi Cahaya Gelas BK7	46
3.6.3	Uji Transmisi Cahaya Lapisan Tipis Al	46
3.6.3.1	Peralatan dan Bahan	46
3.6.3.2	Metoda Uji Transmisi Cahaya Lapisan Tipis Al	47
3.6.4	Uji Spektrum Gelombang Tampak Lapisan Tipis Al	47
3.6.4.1	Peralatan dan Bahan	47
3.6.4.2	Metoda Uji Spektrum Gelombang Tampak Lapisan Tipis Al	47
3.6.5	Uji Dimensi Beam Profile Sinar Laser	47
3.6.5.1	Peralatan dan Bahan	48
3.6.5.2	Metoda Uji Dimensi Beam Profile Sinar Laser	48

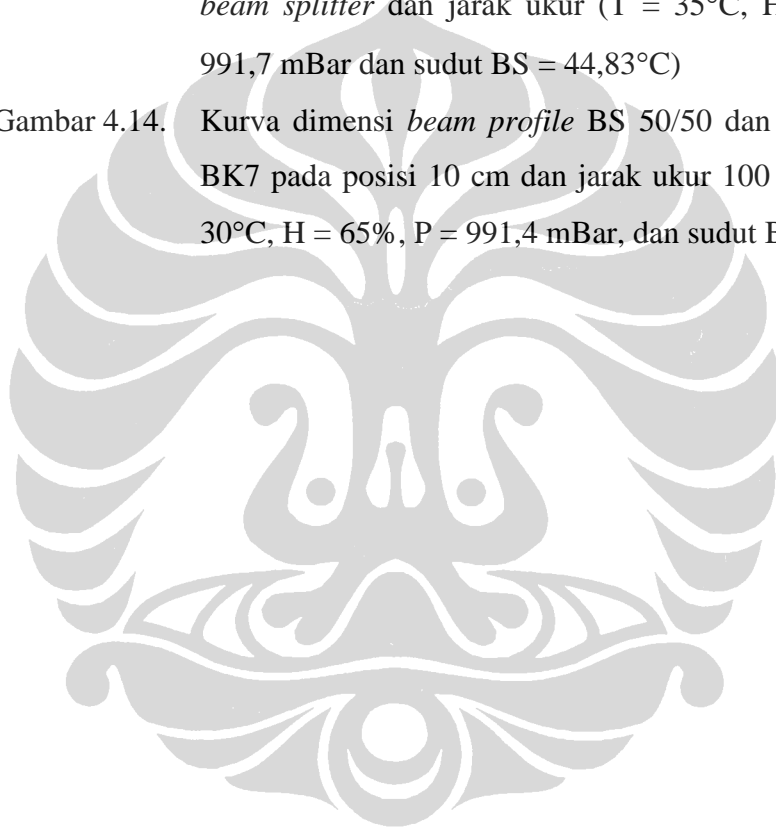
3.6.6. Uji Dimensi Beam Profile Gelas BK7	51
3.6.6.1. Peralatan dan bahan	51
3.6.6.2. Metoda Uji Dimensi Beam profile Gelas BK7	51
4. PEMBAHASAN	
4.1. Ketebalan Lapisan Tipis	52
4.2. Durabilitas Lapisan Tipis	53
4.3. Transmittansi Gelas BK7	55
4.4. Transmittansi Lapisan Tipis Aluminium	57
4.5. Spektrum Transmittansi Lapisan Pada Daerah Gelombang Tampak	61
4.6. Pengukuran Dimensi Beam Profile Lapisan Tipis Al	65
4.7. Pengukuran Dimensi Beam Profile Gelas BK7	69
5. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	71
5.2. Saran	72
DAFTAR REFERENSI	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Diagram Sistem Optik Alat Bidik Anti Tank	3
Gambar 2.1.	<i>Beam splitter</i> dalam bentuk <i>half mirror</i>	8
Gambar 2.2.	<i>Beam splitter</i> dalam bentuk <i>half mirror</i> : permukaan depan (kiri), permukaan belakang (kanan)	9
Gambar 2.3.	Reflektansi dan transmitansi suatu lapisan tipis platinum pada gelas, dihitung dari konstanta optic bulk metal tersebut	9
Gambar 2.4.	Diagram yang menunjukkan sinar datang, sinar pantul, dan sinar transmisi pada suatu bahan transparan	10
Gambar 2.5.	Parameter yang digunakan pada persamaan Fresnel	12
Gambar 2.6.	Variasi reflektansi terhadap sudut datang untuk berbagai nilai indeks bias	14
Gambar 2.7.	Kurva reflektansi vs panjang gelombang untuk aluminium (Al), perak (Ag), dan emas (Au) cermin logam pada sudut jatuh normal	15
Gambar 2.8.	Tahap pembentukan lapisan tipis	17
Gambar 2.9.	<i>Mean free path</i> , laju tumbukan dan waktu untuk membentuk satu lapisan sebagai fungsi tekanan pada 25°C	18
Gambar 2.10.	Evaporasi dari sumber permukaan	21
Gambar 2.11.	Diagram yang menunjukkan geometri evaporasi dari sumber pusat pada permukaan bidang paralel	22
Gambar 2.12.	Diagram yang menunjukkan geometri evaporasi dari sumber stasioner pada substrat yang berputar	24
Gambar 3.1.	Diagram alir penelitian	30
Gambar 3.2.	Pemegang substrat mesin coating	36
Gambar 3.3.	Kawat pemanas tempat material sumber diletakkan	37
Gambar 3.4.	Posisi substrat dan material sumber pada mesin coating Edward 306	37

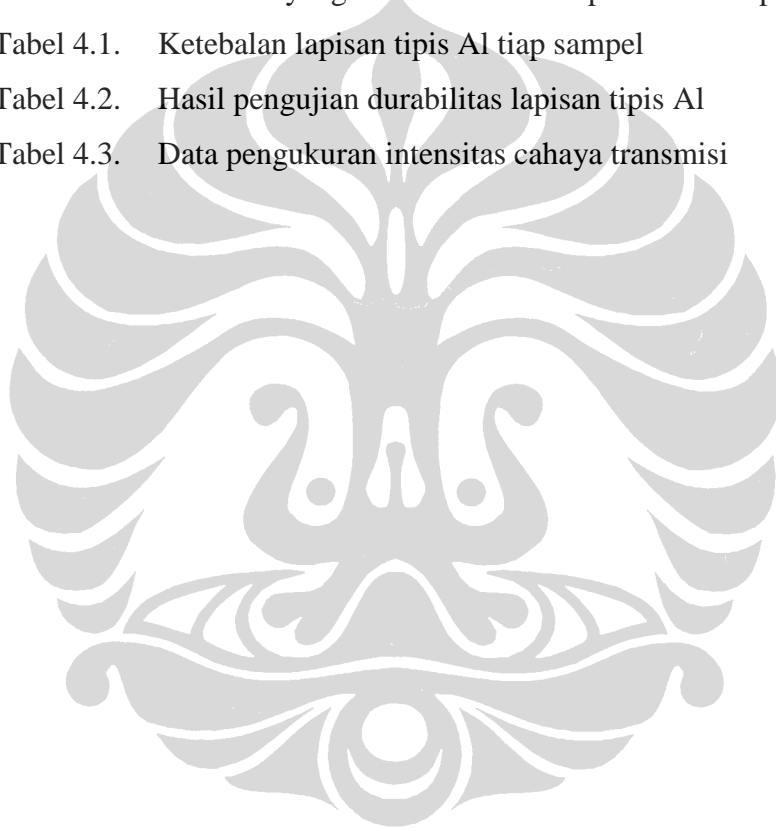
Gambar 3.5.	Mesin Coating Edward 306 yang digunakan untuk pembuatan lapisan tipis Al	39
Gambar 3.6.	Sampel <i>beam splitter</i> yang telah dibuat	42
Gambar 3.7.	Skema <i>fixture</i> untuk pengukuran dimensi <i>beam profile</i> (a) tampak atas, (b) tampak samping	43
Gambar 3.8.	<i>Fixture</i> untuk pengukuran dimensi <i>beam profile</i>	44
Gambar 3.9.	Skema sinar datang, sinar refleksi dan transmisi suatu sinar laser yang mengenai <i>beam splitter</i>	44
Gambar 3.10.	Skema penentuan sudut 45° untuk posisi <i>beam splitter</i>	49
Gambar 3.11.	Skema pengukuran <i>beam profile</i> sinar laser	51
Gambar 4.1.	Transmitansi lapisan tipis aluminium pada substrat gelas BK7	51
Gambar 4.2	Plot data untuk daerah linier kurva transmitansi lapisan tipis aluminium	59
Gambar 4.3	Kurva transmitansi lapisan tipis aluminium pada substrat gelas BK7 untuk $m = 190$ mg dan $T = 4,7\%$	61
Gambar 4.4	Kurva transmitansi lapisan tipis aluminium pada substrat gelas BK7 untuk $m = 30$ mg dan $T = 36,3\%$	62
Gambar 4.5	Kurva transmitansi lapisan tipis aluminium pada substrat gelas BK7 untuk $m = 25$ mg dan $T = 50,4\%$	62
Gambar 4.6.	Kurva transmitansi lapisan tipis aluminium pada substrat gelas BK7 untuk $m = 20$ mg dan $T = 61,4\%$	63
Gambar 4.7.	Kurva transmitansi lapisan tipis aluminium pada substrat gelas BK7 untuk $m = 15$ mg dan $T = 87,7\%$	63
Gambar 4.8.	Kurva transmitansi lapisan tipis aluminium pada substrat gelas BK7 untuk $m = 13$ mg dan $T = 92,4\%$	64
Gambar 4.9.	Kurva transmitansi substrat gelas BK7	64
Gambar 4.10.	Dimensi <i>beam profile</i> sinar transmisi pada berbagai posisi <i>beam splitter</i> dan jarak ukur ($T = 30^\circ\text{C}$, $H = 65\%$, $P = 991,4$ mBar dan sudut BS = $44,83^\circ\text{C}$)	66

- Gambar 4.11. Dimensi *beam profile* sinar transmisi pada berbagai posisi *beam splitter* dan jarak ukur ($T = 35^{\circ}\text{C}$, $H = 60\%$, $P = 991,7 \text{ mBar}$, dan sudut BS = $44,83^{\circ}\text{C}$) 66
- Gambar 4.12. Dimensi *beam profile* sinar refleksi pada berbagai posisi *beam splitter* dan jarak ukur ($T = 30^{\circ}\text{C}$, $H = 65\%$, $P = 991,4 \text{ mBar}$, dan sudut BS = $44,83^{\circ}\text{C}$) 67
- Gambar 4.13. Dimensi *beam profile* sinar refleksi pada berbagai posisi *beam splitter* dan jarak ukur ($T = 35^{\circ}\text{C}$, $H = 60\%$, $P = 991,7 \text{ mBar}$ dan sudut BS = $44,83^{\circ}\text{C}$) 67
- Gambar 4.14. Kurva dimensi *beam profile* BS 50/50 dan substrat gelas BK7 pada posisi 10 cm dan jarak ukur 100 – 300 m ($T = 30^{\circ}\text{C}$, $H = 65\%$, $P = 991,4 \text{ mBar}$, dan sudut BS = $44,83^{\circ}\text{C}$) 70



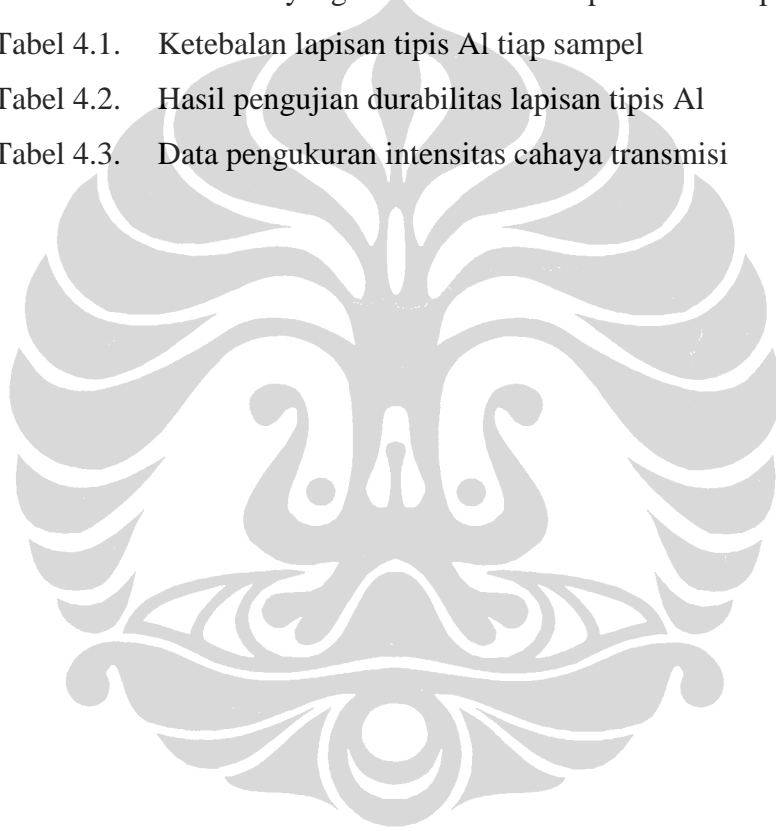
DAFTAR TABEL

No Tabel	Judul Tabel	Hal
Table 3.1.	Bahan yang digunakan untuk pembuatan substrat	31
Table 3.2.	Peralatan yang digunakan untuk pembuatan substrat	32
Table 3.3.	Bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan lapisan tipis	33
Tabel 3.4.	Peralatan yang dibutuhkan untuk pembuatan lapisan tipis	33
Tabel 4.1.	Ketebalan lapisan tipis Al tiap sampel	52
Tabel 4.2.	Hasil pengujian durabilitas lapisan tipis Al	54
Tabel 4.3.	Data pengukuran intensitas cahaya transmisi	56



DAFTAR TABEL

No Tabel	Judul Tabel	Hal
Table 3.1.	Bahan yang digunakan untuk pembuatan substrat	31
Table 3.2.	Peralatan yang digunakan untuk pembuatan substrat	32
Table 3.3.	Bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan lapisan tipis	33
Tabel 3.4.	Peralatan yang dibutuhkan untuk pembuatan lapisan tipis	33
Tabel 4.1.	Ketebalan lapisan tipis Al tiap sampel	52
Tabel 4.2.	Hasil pengujian durabilitas lapisan tipis Al	54
Tabel 4.3.	Data pengukuran intensitas cahaya transmisi	56

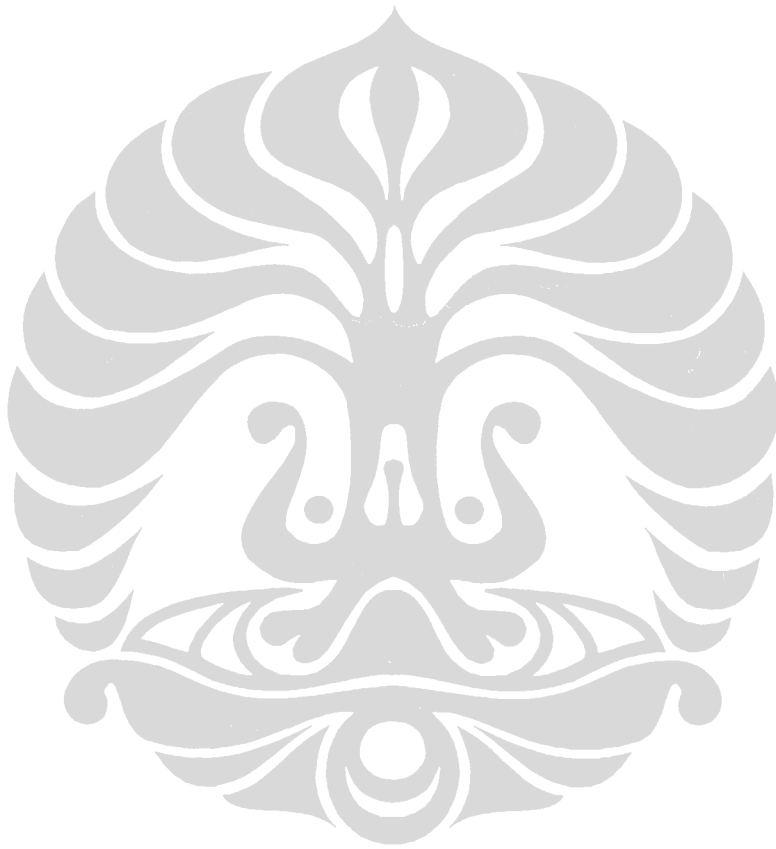


DAFTAR NOTASI

Simbol	Arti	Satuan
α	koefisien evaporasi yaitu rasio dari laju evaporasi yang teramati dengan laju evaporasi teoritik	-
ϕ	sudut emisi evaporasi	°
θ	sudut datang fluks evaporan	°
ρ	massa jenis material sumber	(g/cm ³)
γ	energy bebas permukaan spesifik	J/m ²
Φ	fluks cahaya	lumen
η	admitansi karakteristik optik medium polarisasi p dan s parallel terhadap batas	
θ_i	sudut datang cahaya terhadap normal	°
θ_t	sudut transmisi terhadap normal	°
φ	Sudut posisi substrat dan sumbu-x positif	°

DAFTAR LAMPIRAN

1. Spesifikasi Teknis Mesin Coating Edward 306
2. Skema Sistem Evaporasi Mesin Coating Edward 306
3. Spesifikasi Teknis Green Laser Pointer 1000mW
4. Spesifikasi Teknis Electronic Digital Caliper



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beam splitter merupakan suatu komponen optik yang digunakan untuk membagi sinar menjadi dua bagian yaitu sinar transmisi dan refleksi (Macleod, 2010; Holland, 1970; Hobbs, 2009; Wiley, 2006). *Beam splitter* sering juga disebut sebagai *half-silvered mirror* atau setengah cermin karena ada intensitas cahaya yang ditransmisikan dan direfleksikan. Komponen optik ini pada prinsipnya merupakan lapisan tipis suatu material pada gelas datar. Lapisan ini memiliki reflektansi dan transmitansi pada daerah panjang gelombang tertentu.

Aplikasi *beam splitter* sangat luas yaitu instrumentasi analisis (*interferometer, spectrophotometer, photometer analyzer, turbidimeter, Fluorescence based Instrumentation, Raman based Instruments* dsb), teknologi pertahanan dan keamanan (teropong bidik militer), instrumentasi medis (*Ophthalmic, Glucose Monitors & Sensors, Respiratory Gas Monitors, Clinical Analyzers*, dsb), *lithography, filter Infrared, filter Ultraviolet* dan peralatan lain yang menggunakan prinsip optik (Ewing, 1985; Hariharan, 2003; Ovchinnikov, 2003; Looger, 1976; Rentzsch, 1982; Takenaka, 2005; Wang, 2007).

Tipe paling sederhana dari *beam splitter* yaitu suatu lapisan logam yang didepositkan pada suatu plat gelas (Huntz, 2008; Fend et al, 2000 & 2003; Valkonen, 1984; Cheng, 1988; Lipa, 2006; Boccas, 2006, Roche, 2001; Rodríguez, 2004; Suzuki, 2007; Lansåker, 2011). Material logam yang digunakan sebagai bahan pelapis bermacam-macam seperti aluminium (Al), perak (Ag), nikel (Ni), emas (Au), tembaga (Cu) dan krom (Cr). Diantara material-material tersebut yang paling banyak digunakan adalah aluminium (Al). Material ini memiliki sifat refleksi yang baik pada hampir semua panjang gelombang. Material ini memiliki sifat daya rekat yang baik terhadap gelas BK7 yang banyak digunakan sebagai bahan dasar komponen optik. Ditinjau dari sisi ekonomi

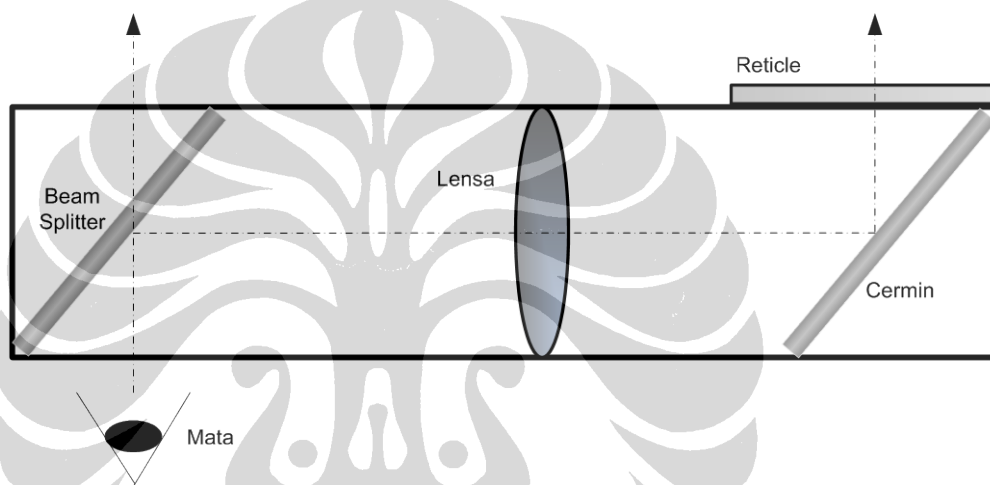
material ini relatif murah dan banyak terdapat dipasaran sehingga mudah diperoleh.

Ada beberapa material yang dapat digunakan sebagai komponen gelas optik yaitu *fused silica*, *fused quartz*, korona (BK7), *pyrex* dan safir (Holland, 1970; Hobbs, 2009; Wiley, 2006; Ohring, 1992; Venables, 2003; Haus, 2010; Razdobarin, 2011, Gatto, 1998; Dharmadhikari, 2011; Venkatesh, 1997; Yoshida, 2003; Semaltianos, 2001; Li, 2009; Lansåker, 2011). Gelas korona (BK7) merupakan material yang banyak digunakan sebagai komponen optik karena homogenitas tinggi, bebas gelembung, sangat bening, tak berwarna, tahan gores, ekonomis, transmisi tinggi untuk daerah tampak dan IR dekat dan sifat kimia yang stabil.

Ada beberapa metoda yang dapat digunakan dalam pembuatan lapisan tipis diantaranya *sol-gel technique*, *electron beam evaporation*, *Magnetron sputtering*, *Cathodic arc deposition*, *Electron beam physical vapor deposition (EBPVD)*, *Ion Plating*, *Ion beam assisted deposition (IBAD)*, *Pulsed laser deposition (PLD)*, *Chemical Vapor Deposition (CVD)*, *Sputter deposition*, dan *evaporation* (Beke, 2008; Lee, 2000; Mattox, 1998; Bendavid, 1999; Fukuda, 2003; Martin, 2003; Saito, 2009; Perez, 2012; Sun, 2007; Semaltianos, 2001; You, 2009; Jankowski, 2004; Harsha, 2007; Martin, 2005; Bunshah, 2001; Cuomo, 1989; Seshan, 2002; Ohring, 1992; Venables, 2003). Diantara metoda - metoda tersebut metoda evaporasi merupakan metoda yang paling banyak digunakan dalam pembuatan lapisan tipis karena kemudahan prosedur pembuatan dan peralatan yang digunakan relatif lebih sederhana dibandingkan dengan metoda yang lain

Beam splitter biasanya ditentukan dari nilai ideal transmitansi dan reflektansi yang dinyatakan sebagai persentase dan ditulis T/R (Macleod, 2010; Holland, 1970; Hobbs, 2009; Zhao, 2011; Ovchinnikov, 2003; Wang, 2007; Shi, 2009 & 2011). *Beam splitter* dengan nilai 50/50 biasanya yang banyak digunakan untuk peralatan yang menggunakan system optik. Nilai tersebut menyatakan sebanyak 50% intensitas cahaya yang datang akan ditransmisikan sedangkan sisanya akan direfleksikan.

Salah satu aplikasi dari *beam splitter* adalah pada komponen senjata alat bidik anti tank (Grauslys, 2008; Smith, 2003; Jorlov, 1993; Idan, 1999; Catagner, 1984; Looger, 1976; Ekstand, 1976; Rentzsch, 1982; Hatman, 1972; Smith, 1972; MIL-STD-1241, 1960; MIL-HdBK-14-1, 2001). Alat bidik ini merupakan suatu alat bantu yang digunakan pada senjata untuk membidik sasaran yang jaraknya jauh sehingga tembakan senjata dapat dengan tepat mengenai sasaran. Prinsip disain konstruksi sistem optik alat bidik ini, mirip dengan prinsip periskop. Sedangkan komponen-komponen optik pada alat ini dapat dijelaskan dengan diagram susunan komponen optik seperti Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Diagram sistem optik alat bidik anti tank

Fungsi masing-masing komponen dapat dijelaskan sebagai berikut:

- *Beam splitter*, berfungsi sebagai pembagi pandangan/cahaya dari pandangan pengamat sebagian pada target obyek dan sebagian pada tanda bidik (*reticule*).
- Lensa, berfungsi sebagai pemusat sekaligus pembesar bayangan tanda bidik pada mata.
- Cermin berfungsi sebagai pembelok cahaya yang datang dari pantulan obyek pada *reticle* ke mata melalui lensa dan beam splitter.
- Reticule, berupa tanda silang (*crosshair*) berfungsi untuk alat bantu dalam membidik target agar tembakan tepat sasaran.

Secara umum alat bidik anti tank berupa teropong yang memiliki daya pantau pada jarak tertentu. Teropong tersebut memiliki perbesaran (*magnitude*)

tertentu sehingga obyek yang jauh dapat dilihat lebih dekat dan jelas. Pada beberapa jenis alat bidik terdapat tanda silang (*crosshair*) untuk menembak dan menentukan jarak dengan lebih akurat. Alat bidik senjata terdiri dari susunan beberapa lensa dengan spesifikasi tertentu sesuai dengan kemampuannya. Alat bidik tersebut dilengkapi dengan *beam splitter*. Dalam hal ini *beam splitter* berfungsi untuk membagi pandangan menjadi dua bagian yaitu sebagian menuju target dan sebagian menuju tanda bidik (*reticle*).

Komponen optik yang digunakan untuk alat bidik senjata harus memenuhi standar Syarat-syarat Tipe (SST) Teropong Medan Perorangan yang ditetapkan oleh Dinas Penelitian dan Pengembangan Mabes TNI AD. Menurut standar tersebut *beam splitter* harus lolos pengujian durabilitas lapisan tipis dan daya tembus cahaya minimal untuk substrat. Untuk pengujian durabilitas dilakukan pengujian daya rekat lapisan tipis yang terbentuk pada lapisan tipis. Sedangkan pengujian daya tembus cahaya minimal untuk mengetahui daya tembus cahaya substrat gelas BK7 yang digunakan.

1.2 Perumusan Masalah

Kemampuan teknologi dan produksi dalam negeri dalam memenuhi senjata ringan standard TNI, sudah tidak diragukan lagi. Namun untuk alat bidik optis, kemampuan teknologi produksinya masih kurang memadai dari kebutuhan TNI. Komponen optik ini masih diimpor dari luar negeri karena keterbatasan produksi dan keterbatasan kemampuan SDM dalam negeri.

Oleh karena itu diperlukan upaya untuk menguasai teknologi optik untuk peralatan militer. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan melaksanakan penelitian di bidang optik untuk peralatan senjata. Dari penelitian ini diharapkan dapat dilakukan pembuatan komponen optik untuk alat bidik senjata dengan memanfaatkan industri di dalam negeri sehingga ketergantungan terhadap negara lain dapat dikurangi.

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab tantangan tersebut. Dalam penelitian ini dilakukan pembuatan *beam splitter* untuk alat bidik militer. *Beam splitter* yang dibuat dalam penelitian ini berupa lapisan tipis aluminium pada substrat gelas korona (BK7) yang dipoles. Proses pembuatan lapisan tipis

aluminium dilakukan dengan metoda evaporasi melalui pemanasan hambatan (*resistance heating*). Proses pembuatan *beam splitter* dilakukan di Laboratorium Optik KIM LIPI yang memiliki sarana dan peralatan dalam pembuatan komponen optik. Sampel yang diperoleh kemudian diuji durabilitas lapisan tipis, daya transmansi substrat dan lapisan tipis, spektrum cahaya transmisi, dan dimensi *beam profile*.

1.3. Tujuan Penelitian

Kegiatan penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pembuatan, durabilitas dan sifat optik lapisan tipis aluminium yang digunakan sebagai *beam splitter*. Pengujian durabilitas dilakukan untuk mengetahui daya rekat lapisan tipis yang terbentuk. Pengujian performansi lapisan tipis optik dilakukan dengan memperhatikan daya dan spektrum transmisi pada daerah gelombang tampak (400 – 800 nm). Pengujian dimensi *beam profile* dilakukan untuk mengetahui pengaruh posisi *beam splitter* terhadap dimensi *beam profile* pada jarak ukur tertentu. Parameter performansi lapisan tipis yaitu massa material sumber digunakan untuk menentukan sifat optik lapisan tipis.

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat diaplikasikan pada Alutsista TNI dan Polri untuk kepentingan pertahanan dan keamanan. Selain itu keberhasilan dalam peningkatan kemampuan SDM yang dapat diandalkan untuk membangun kemandirian bangsa dalam pemenuhan kebutuhan teknologi maupun dalam kemampuan rekayasa dan perbaikan Alutsista sistem pertahanan dan keamanan.

1.5. Batasan Penelitian

Dalam penelitian ini permasalahan dibatasi sebagai berikut :

- a. Parameter yang digunakan dalam pembuatan lapisan tipis aluminium adalah berat material sumber. Dalam penelitian ini berat material sumber (aluminium) yang digunakan adalah 13 – 190 mg.
- b. Evaporasi dilakukan pada kondisi vakum dalam orde 10^{-6} torr.

- c. Pemolesan substrat dilakukan selama 4 jam dan pembersihan substrat sebanyak 50 kali masing-masing dengan aseton dan etanol.
- d. Pengukuran transmitansi dan spektrum lapisan tipis dilakukan dengan lampu Quartz Tungsten Halogen (QTH) 12 Volt 250 Watt.
- e. Pengukuran spektrum cahaya transmisi dilakukan pada daerah gelombang tampak (400 – 650 nm) (Kato, 2011).
- f. Sinar laser yang digunakan adalah laser hijau dengan daya 1000 mW dan panjang gelombang 532 nm.
- g. Pengukuran beam profile dilakukan dengan jarak beam splitter 10 - 40 cm dari sumber laser dan jarak ukur 100 - 300 m.
- h. Jangka sorong digital memiliki ketelitian 0,01 mm.

1.6. Model Operasional Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah meliputi perancangan, pembuatan dan pengujian hasil-hasil pembuatan lapisan tipis aluminium. Tahapan penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Persiapan (perancangan, persiapan bahan dan alat)
- Pembuatan susbtrat (persiapan bahan dan alat, pembuatan lensa)
- Pembuatan lapisan tipis (persiapan bahan dan alat, pembuatan lapisan tipis)
- Pengujian (persiapan pengujian, pengujian lapisan tipis)
- Pembuatan laporan (penulisan kegiatan penelitian dan hasil yang diperoleh)

BAB 2

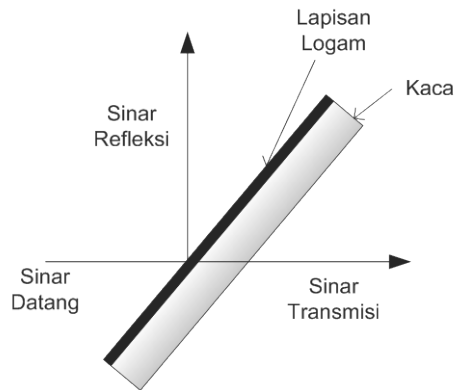
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beam Splitter

Beam splitter merupakan suatu komponen optik yang digunakan untuk membagi sinar menjadi dua bagian (Macleod, 2010; Holland, 1970; Hobbs, 2009; Wiley, 2006; Haus, 2010). Bagian fungsional suatu *beam splitter* secara umum terdiri dari sebuah permukaan yang dilapisi sehingga memiliki reflektansi dan transmitansi pada daerah gelombang tertentu. Sinar datang dibagi menjadi dua bagian yaitu sinar transmisi dan refleksi pada permukaan tersebut. *Beam splitter* biasanya digunakan dengan cara dimiringkan sehingga sinar datang dan refleksi terpisah. Nilai ideal reflektansi dan transmisi dapat berbeda tergantung aplikasinya. *Beam splitter* yang dimaksud di sini adalah *neutral beam splitter* karena reflektansi dan transmitansi idealnya bernilai konstan pada daerah gelombang yang diinginkan. Sifat-sifat optik *beam splitter* dapat diatur dengan mengubah ketebalan lapisan refleksi.

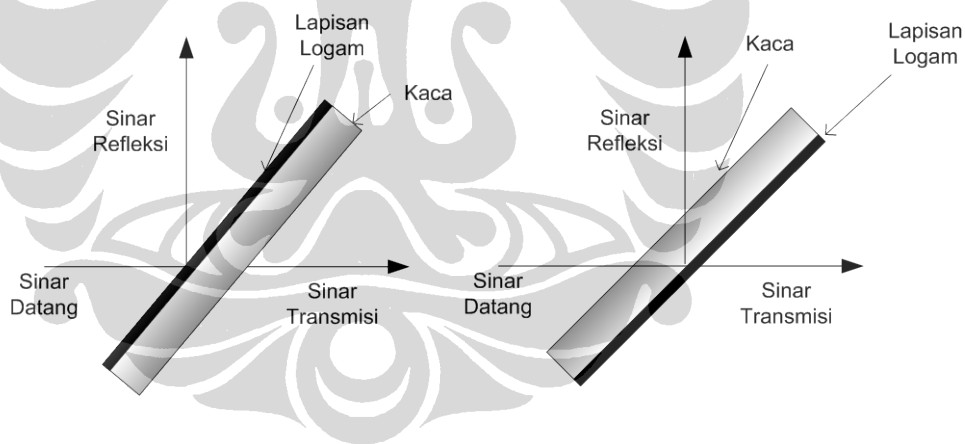
Beam splitter biasanya ditentukan dari nilai ideal transmitansi dan reflektansi yang dinyatakan sebagai persentase dan ditulis T/R. *Beam splitter* 50/50 merupakan komponen optik yang paling sering digunakan dan sering disebut *half-silvered mirror*.

Tipe paling sederhana dari suatu *beam splitter* adalah suatu lapisan tipis logam yang didepositkan pada suatu pelat gelas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Logam yang digunakan sebagai bahan pelapis bermacam-macam. Aluminium (Al) memiliki sifat refleksi yang baik pada hampir semua panjang gelombang. Perak (Ag) yang memiliki absorpsi paling sedikit dibandingkan dengan logam lainnya digunakan pada daerah gelombang tampak dan merupakan material yang banyak digunakan untuk komponen *Beam splitter*. *Beam splitter* komersial sekarang biasanya dibuat dari logam seperti krom (Cr) yang lebih tahan terhadap abrasi dan korosi.



Gambar 2.1. *Beam splitter* dalam bentuk *half mirror*

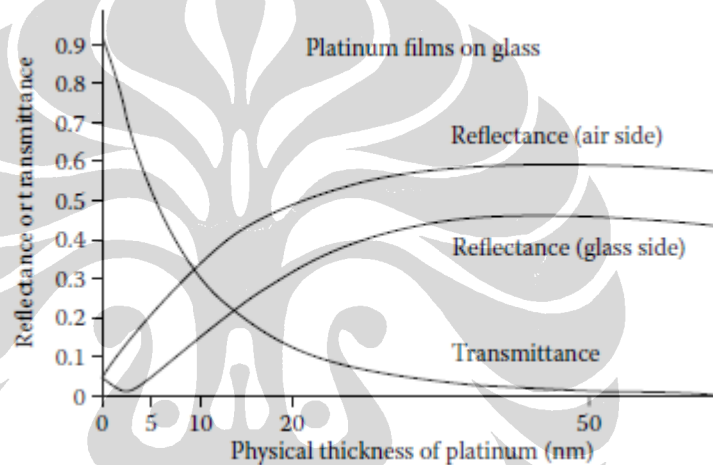
Pelapisan cermin gelas dapat dilakukan pada permukaan belakang atau permukaan depan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Jika pelapisan adalah pada permukaan belakang, ada beberapa distorsi dan radiasi beberapa hilang ketika melewati gelas ke dan dari pelapisan. Oleh karena itu cermin permukaan depan adalah reflektor yang lebih efisien.



Gambar 2.2. *Beam splitter* dalam bentuk *half mirror* : permukaan depan (kiri), permukaan belakang (kanan)

Jika pelapisan adalah pada permukaan belakang, maka dapat dilindungi oleh lapisan pelindung dan perak sering digunakan. Namun jika pelapisan adalah pada permukaan depan tanpa mantel, maka akan terkena korosi dan aluminium adalah bahan yang lebih dipilih.

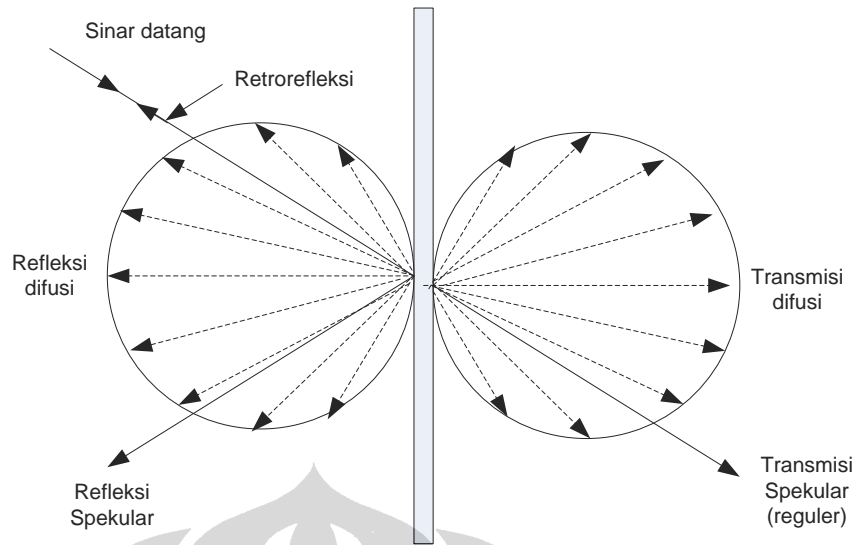
Semua *beam splitter* metalik mengalami proses absorpsi cahaya. Pengukuran menunjukkan reflektansi pada sisi udara lebih tinggi dibandingkan dengan sisi gelas. Gambar 2.3 menunjukkan kurva untuk lapisan tipis platinum yang menjelaskan fenomena ini. Pengaruh ini tidak terlihat pada lapisan transparan. Karena $T + A + R = 1$ reduksi reflektansi pada sisi substrat berarti absorpsi dan hamburan dari sisi substrat selalu lebih tinggi (Macleod, 2010). Oleh karena perbedaan refleksi ini bila diharapkan efisiensi yang tinggi, maka *beam splitter* metalik sebaiknya selalu digunakan dengan cara meletakkan lapisan logam pada sisi dimana sinar datang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.3. Reflektansi dan transmitansi suatu lapisan tipis platinum pada gelas (Macleod, 2010)

2.2. Hubungan Transmisi, Refleksi, Absorpsi dan Hamburan

Bila cahaya mengenai suatu permukaan transparan, maka sebagian cahaya akan dipantulkan (R) dari permukaan atas dan sebagian cahaya ditransmisikan (T) menembus permukaan dasar (Macleod, 2010; Holland, 1970; Hobbs, 2009; Wiley, 2006; Liu, 2010). Bagian sisanya hilang melalui proses absorpsi (A) oleh elektron material. Hal-hal tersebut diatas dapat mempengaruhi sifat optik lapisan tipis logam *beam splitter*. Tiga fenomena fisis optik yang terjadi yaitu refleksi, transmisi, dan absorpsi dapat dilihat pada skema yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Skema yang menunjukkan sinar datang, sinar refleksi, dan sinar transmisi pada suatu bahan transparan (Bass, 2010)

Transmisi merupakan istilah untuk menggambarkan fluks cahaya yang datang meninggalkan suatu permukaan atau medium dari sisi yang lain dari sisi sinar datang, biasanya sisi yang berlawanan. Transmisi dapat terjadi secara spekular (reguler), difusi (hamburan) atau kombinasi keduanya. Transmisi spekular merupakan perubahan arah rambat gelombang cahaya yang terjadi dengan memenuhi hukum Snellius. Sedangkan transmisi difusi (*diffused transmission*) adalah perubahan arah rambat gelombang cahaya yang terjadi setelah menembus antarmuka granular yang tidak rata dengan hamburan cahaya berlawanan arah sisi (medium) asal cahaya datang. Transmisi difusi terjadi tidak memenuhi hukum Snellius. Transmittansi adalah perbandingan antara flux cahaya (lumen) yang ditransmisikan Φ_t terhadap fluks cahaya (lumen) yang datang Φ_i . Secara matematis dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$T = \frac{\Phi_t}{\Phi_i} \quad (2.1)$$

Absorpsi adalah proses dimana fluks cahaya datang dikonversi menjadi bentuk energi lain, biasanya dalam bentuk energi panas. Absorptansi adalah rasio fluks cahaya yang diserap Φ_a (lumen) terhadap fluks cahaya yang datang Φ_i (lumen). Secara matematis dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$A = \frac{\Phi_a}{\Phi_i} \quad (2.2)$$

Refleksi adalah proses di mana sebagian dari fluks cahaya datang pada permukaan dikembalikan ke bagian yang sama yang memiliki dasar permukaan dan yang berisi radiasi datang. Refleksi bisa berupa refleksi specular (dalam arah cermin), difus (tersebar ke seluruh permukaan), atau kombinasi dari keduanya. Refleksi spekular (*specular reflection*) adalah refleksi yang terjadi pada antarmuka yang mengkilap yang merupakan sebab akibat dari hukum refleksi. Refleksi difusi (*diffused reflection*) atau hamburan (*scattering*) adalah perubahan arah rambat gelombang cahaya yang terjadi setelah menumbuk antarmuka granular yang tidak rata dengan hamburan cahaya kembali ke arah sisi (medium) asalnya dengan banyak sudut pantul. Kekasaran permukaan, batas butiran, dan fluktuasi kerapatan akibat porositas, lubang dan retakan mikro, partikel pengotor, dan ketidakhomogenitas merupakan sumber hamburan. Reflektansi adalah rasio fluks cahaya yang direfleksikan Φ_r (lumen) terhadap fluks cahaya datang Φ_i (lumen). Secara matematis reflektansi specular dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$R = \frac{\Phi_r}{\Phi_i} \quad (2.3)$$

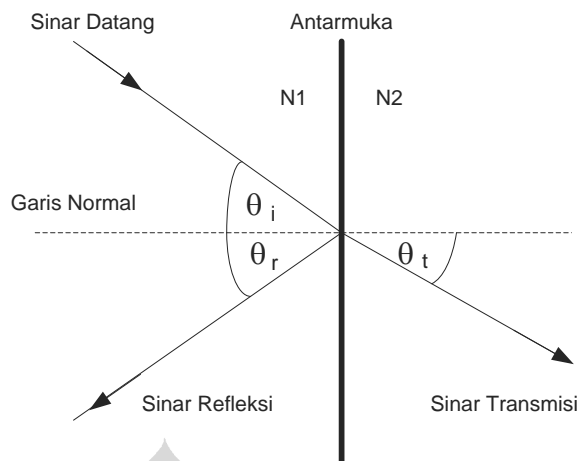
Dengan mengikuti hukum kekekalan energi, hubungan tiga fenomena fisis tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan matematis sebagai berikut :

$$T + A + R = 1 \quad (2.4)$$

dengan T adalah transmitansi, A adalah absorptansi, dan R adalah reflektansi.

2.3. Reflektansi Batas Tunggal

Filter lapisan tipis biasanya terdiri dari beberapa batas antara berbagai media homogen. Reflektansi batas tunggal merupakan kasus yang paling sederhana. Hal ini diilustrasikan seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.5. N_1 merupakan admitansi karakteristik medium dimana muka gelombang (*wavefront*) datang dan N_2 merupakan admitansi karakteristik medium kedua. Disini kita mengasumsikan bahwa gelombang datang terbagi menjadi dua komponen pada batas yaitu satu direfleksikan dan satu lagi dibiaskan atau ditransmisikan.



Gambar 2.5. Parameter yang digunakan pada persamaan Fresnel

Intensitas fraksi gelombang cahaya yang mengalami refleksi dari antarmuka ditentukan oleh reflektansi R dan fraksi gelombang cahaya yang mengalami refraksi ditentukan oleh transmittansi T .

Perhitungan reflektansi atau koefisien refleksi energi, R , bergantung pada polarisasi sinar datang disebut Refleksi Fresnel yang dirumuskan sebagai :

$$R = r^2 = \left(\frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right)^2 = \left(\frac{\eta_1 - \eta_2}{\eta_1 + \eta_2} \right)^2 \quad (2.5)$$

dengan :

r = koefisien refleksi amplitude atau koefisien refleksi Fresnel atau reflektivitas (*reflectivity*)

N = admitansi karakteristik optik medium atau indeks bias kompleks

η = admitansi karakteristik optik medium polarisasi p dan s parallel terhadap batas

Admitansi karakteristik optik medium atau indeks bias kompleks menyatakan hubungan antara indeks bias medium (n) dan koefisien extinction (k). Indeks bias menyatakan kecepatan cahaya dalam medium. Sedangkan koefisien extinction menyatakan ukuran absorpsi dalam suatu medium. Secara matematis dinyatakan dengan persamaan :

$$N = n - ik \quad (2.6)$$

dengan n adalah indeks bias dan k adalah koefisien extinction (indeks absorpsi)

Jika gelombang cahaya dipolarisasi oleh medan magnet yang tegak lurus bidang diagram (gelombang Transverse Magnetic (TM) atau polarisasi-p), E (vektor listrik) miring dengan sudut θ dan H (vektor magnetik) paralel terhadap batas :

- Admitansi medan magnetik :

$$\eta_M = \frac{N}{\cos \theta} \quad (2.7)$$

- Koefisien refleksi persamaan Fresnel :

$$r_p = \frac{\left(\frac{N_1}{\cos \theta_i} - \frac{N_2}{\cos \theta_t} \right)}{\left(\frac{N_1}{\cos \theta_i} + \frac{N_2}{\cos \theta_t} \right)} \quad (2.8)$$

- Reflektansi untuk polarisasi medan magnetik pada bidang diagram (polarisasi-p) :

$$R_p = \left(\frac{N_1 \cos \theta_t - N_2 \cos \theta_i}{N_1 \cos \theta_t + N_2 \cos \theta_i} \right)^2 \quad (2.9)$$

Jika gelombang cahaya dipolarisasi oleh medan listrik yang tegak lurus bidang diagram (gelombang Transverse Electric (TE) atau polarisasi-s), E (vektor listrik) paralel terhadap batas dan H (vektor magnetik) miring dengan sudut θ :

- Admitansi medan listrik :

$$\eta_E = N \cos \theta \quad (2.10)$$

- Koefisien refleksi Fresnel :

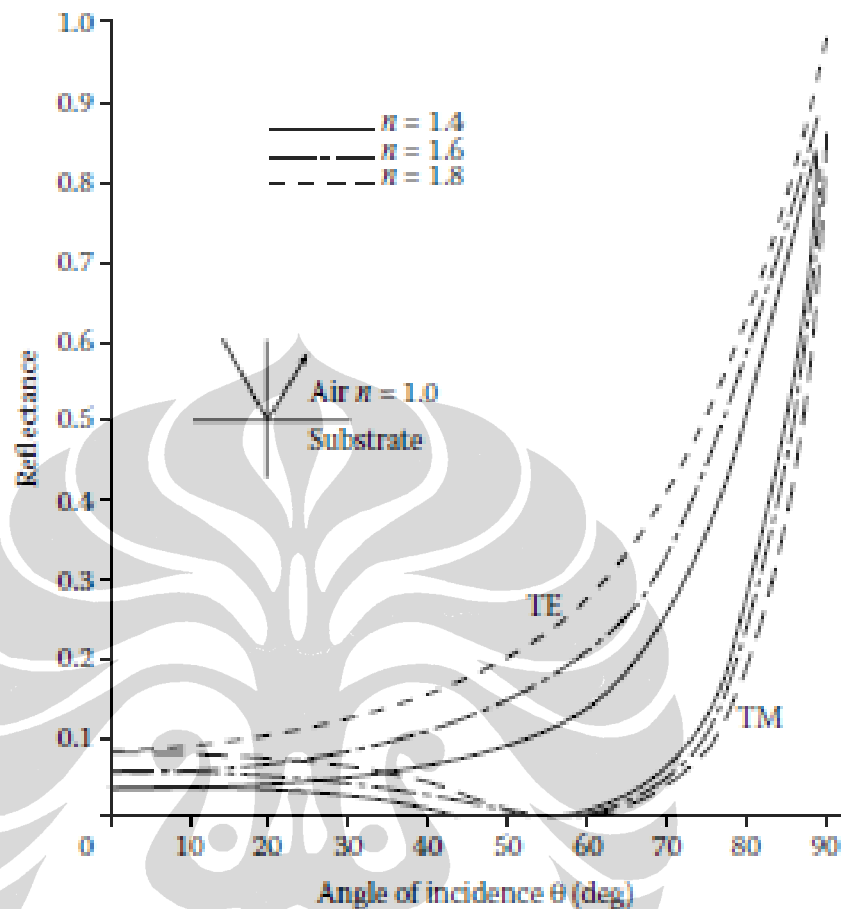
$$r_s = \frac{N_1 \cos \theta_i - N_2 \cos \theta_t}{N_1 \cos \theta_i + N_2 \cos \theta_t} \quad (2.11)$$

- Reflektansi untuk polarisasi medan listrik pada bidang diagram (polarisasi-s) :

$$R_s = \left(\frac{N_1 \cos \theta_i - N_2 \cos \theta_t}{N_1 \cos \theta_i + N_2 \cos \theta_t} \right)^2 \quad (2.12)$$

Dari persamaan 2.9 dan 2.12 terlihat bahwa reflektansi untuk polarisasi p dan s tergantung terhadap indeks bias dan sudut datang-transmisi cahaya. Kurva

variasi reflektansi terhadap sudut datang untuk berbagai nilai indeks bias ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Variasi reflektansi terhadap sudut datang untuk berbagai nilai indeks bias (Macleod, 2010).

Koefisien transmisi untuk tiap-tiap bidang polarisasi dapat dihitung dengan aritmatika: $T_s = 1 - R_s$ dan $T_p = 1 - R_p$. Jika sinar datang tidak terpolarisasi (mempunyai nilai polarisasi-s dan -p), reflektansi menjadi $R = (R_s + R_p)/2$.

Pada sudut insiden tertentu, R_p bernilai nol. Hal ini menandakan refleksi keseluruhan dari gelombang cahaya pada bidang p. Sudut ini dikenal sebagai sudut Brewster ($\tan \theta_0 = n_1/n_2$), sekitar 56° untuk medium kaca dan udara.

Ketika gelombang cahaya merambat ke medium yang lebih renggang, $n_1 > n_2$, pada sudut insiden di atas sudut kritis semua gelombang cahaya mengalami

refleksi dan $R_s = R_p = 1$. Fenomena ini disebut *total internal reflection*. Sudut kritis untuk kaca dan udara sekitar 41° .

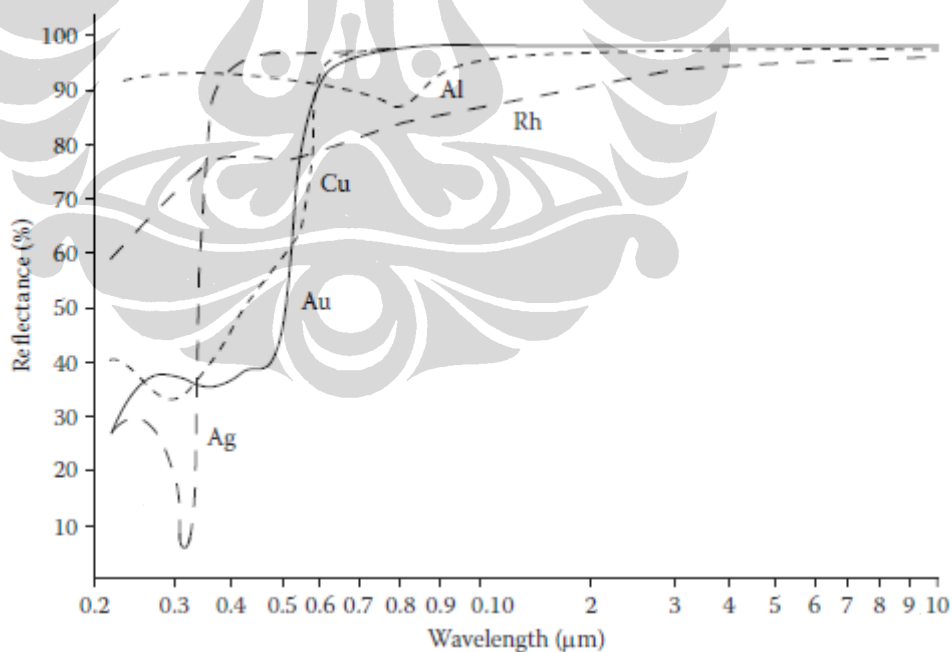
Koefisien refleksi dan koefisien transmisi pada sudut insiden mendekati normal antarmuka ($\theta_i \approx \theta_t \approx 0^\circ$) dapat dihitung dengan persamaan:

$$R = R_s = R_p = \left(\frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right)^2 \quad (2.13)$$

$$T = T_s = T_p = 1 - R = \frac{4N_1N_2}{(N_1 + N_2)^2} \quad (2.14)$$

2.4. Sifat Optik Lapisan Tipis Logam

Bentuk lapisan tipis optik yang paling sederhana adalah lapisan tipis logam, seperti aluminium, yang didepositkan pada substrat kaca untuk membuat permukaan yang bersifat reflektif (Macleod, 2010; Holland, 1970; Hobbs, 2009; Wiley, 2006). Logam yang digunakan akan menentukan karakteristik refleksi lapisan yang dihasilkan. Performansi reflektansi beberapa material logam yang umum digunakan untuk lapisan refleksi ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Kurva reflektansi vs panjang gelombang untuk aluminium (Al), perak (Ag), dan emas (Au) cermin logam pada sudut jatuh normal (Macleod, 2010)

Material aluminium (Al) merupakan yang termurah dan lapisan metal yang paling umum digunakan dalam pembuatan lapisan yang bersifat reflektif. Lapisan ini menghasilkan pantulan sekitar 88% - 92% pada spektrum tampak. Material Al mudah dievaporasikan dan memiliki reflektansi yang baik pada daerah UV, tampak dan IR. Selain itu material ini memiliki daya adhesi yang kuat pada substrat yang umum digunakan termasuk plastik. Reflektansi lapisan Al menurun secara perlahan seiring penggunaan walaupun lapisan oksida yang dibuat pada permukaan membantu melindungi lapisan tipis Al dari korosi. Dalam penggunaan khususnya bila cermin Al terpapar di luar ruangan, debu dan kotoran yang terkumpul pada permukaan dapat menyebabkan penurunan reflektansi lapisan tipis Al.

Perak (Ag) merupakan material logam yang banyak digunakan setelah aluminium. Dari sisi harga material Ag lebih mahal dari Al. Lapisan Ag memiliki pantulan dari 95% - 99% bahkan ke dalam inframerah jauh, namun mengalami penurunan pemantulan ($< 90\%$) dalam daerah spektrum biru dan ultraviolet. Bila terpapar di atmosfer, maka lapisan Ag akan mengalami pemudaran karena pembentukan silver sulfide. Namun reflektansi awal yang tinggi dan kemudahan evaporasi membuat material Ag merupakan pilihan untuk komponen optik yang digunakan hanya untuk periode waktu yang pendek. Ag juga sering digunakan dimana ada hal penting untuk melapisi sementara suatu komponen optik seperti plat interferometer untuk pengujian kedataran.

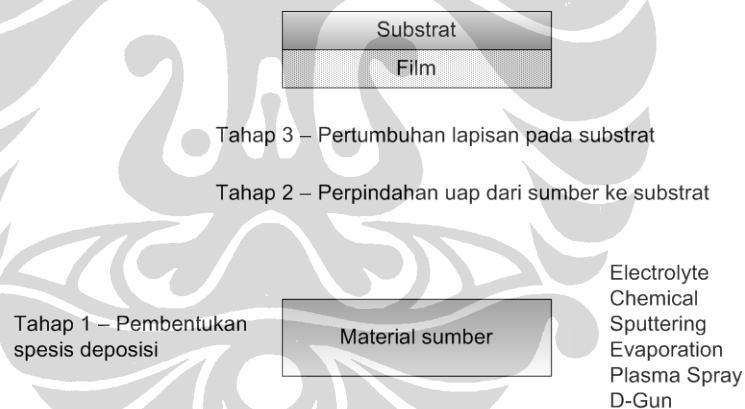
Lapisan tipis logam yang paling mahal adalah lapisan tipis yang dibuat dari material emas (Au). Lapisan Au menghasilkan reflektansi yang sangat baik (98% - 99%) seluruh inframerah, namun terbatas pada panjang gelombang pantulan lebih pendek dari 550 nm, menghasilkan warna emas yang khas.

Intensitas cahaya transmisi dan refleksi lapisan tipis yang dibuat dari material logam dapat dimodifikasi dengan mengatur ketebalan dan kepadatan lapisan logam permukaan seperti yang diaplikasikan pada suatu *beam splitter*. *Beam splitter* jenis ini disebut juga dengan *half silvered mirror*. Komponen optik ini kadang-kadang digunakan sebagai *one-way mirror*.

2.5. Metoda Evaporasi Vakum

Metoda evaporasi vakum merupakan metode yang umum digunakan dalam proses deposisi film tipis dan salah satu dasar proses *Physical Vapor Deposition* (PVD) disamping *sputtering* dan *ion plating* (Macleod, 2010; Holland, 1970; Hobbs, 2009; Wiley, 2006; Ohring, 1992; Venables, 2003; Haus, 2010; Harsha, 2007; Martin, 2005; Mattox, 1998; Bunshah, 2001; Cuomo, 1989; Seshan, 2002). Ada 3 tahap yang terjadi pada proses pembentukan lapisan tipis dengan metoda evaporasi vakum seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.8 yaitu:

1. Sintesis material yang dideposisikan :
 - a. transisi dari fasa terkondensasi (padat atau cair) ke fasa uap.
 - b. untuk deposisi senyawa, reaksi antara komponen beberapa senyawa yang dimasukkan kedalam ruang evaporasi sebagai gas atau uap.
2. Perpindahan uap antara sumber dan substrat.
3. Kondensasi uap (dan gas) yang diikuti nukleasi dan pertumbuhan lapisan.

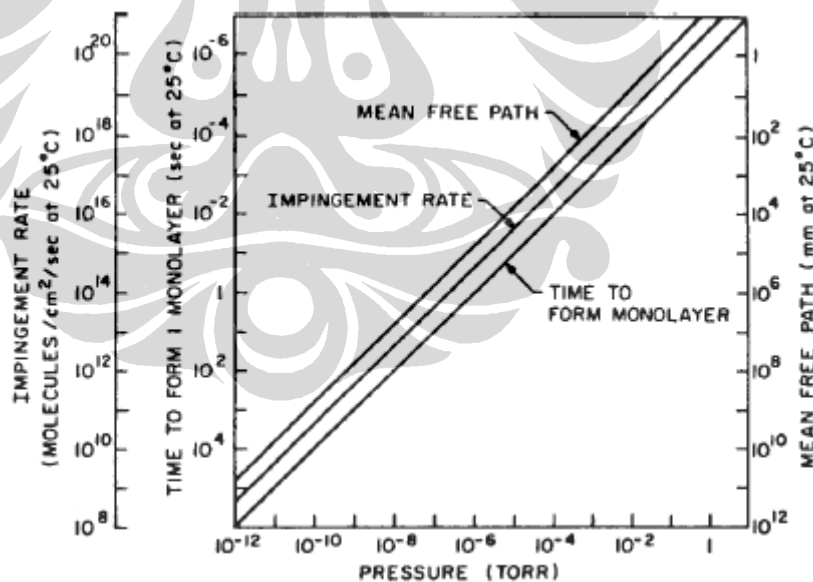


Gambar 2.8. Tahap pembentukan lapisan tipis

Proses evaporasi berlangsung dalam ruang hampa $10^{-5} - 10^{-10}$ torr dimana uap selain material sumber hampir seluruhnya dihilangkan sebelum proses evaporasi dimulai. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan partikel yang bersifat pengotor dan untuk memperbesar lintasan bebas rata-rata (*mean free path*). Pada rentang tekanan vakum tersebut *mean free path* bernilai sangat besar bila dibandingkan dengan jarak sumber – substrat yaitu $5 \times 10^2 - 10^7$ cm. Pada tekanan khas 10^{-4} Pa, sebuah partikel 0,4 nm memiliki *mean free path* sebesar 60 m.

Dalam kondisi vakum yang tinggi (dengan *mean free path* yang besar), partikel yang diuapkan dapat bergerak langsung ke target deposisi tanpa bertabrakan dengan partikel gas lain. Benda panas yang berada dalam ruang evaporasi seperti filamen pemanas akan menghasilkan uap yang tidak diinginkan yang membatasi kualitas vakum.

Mean free path atau lintasan bebas rata-rata adalah jarak bebas yang ditempuh oleh molekul gas sebelum bertumbukan dan proporsional terhadap T/P dengan P adalah tekanan T adalah temperatur. Sebagai contoh untuk nitrogen pada 20°C dan tekanan 1 mTorr sebuah molekul memiliki *mean free path* sekitar 5 cm. Gambar 2.9 menunjukkan *mean free path* suatu molekul, laju tumbukan (molekul/cm²/s pada 25°C) dan waktu untuk membentuk satu lapis spesies teradsorpsi (diasumsikan koefisien pelekatan 1) pada temperatur ruang sebagai fungsi tekanan. Terlihat bahwa untuk tekanan 10^{-6} torr yang mana termasuk tingkat kevakuman yang baik memiliki *mean free path* sekitar 5 meter dan waktu untuk membentuk satu lapis gas sekitar 1 detik.



Gambar 2.9. *Mean free path*, laju tumbukan dan waktu untuk membentuk satu lapisan sebagai fungsi tekanan pada 25°C (Mattox, 1998)

Laju evaporasi dapat diketahui dari teori kinetik yaitu banyaknya partikel yang terdeposisi setiap detik untuk setiap luas permukaan dapat dihitung dengan persamaan Hertz - Knudsen :

$$\frac{dN_i}{dt} = A_e \alpha (2\pi mkT)^{-1/2} (p^* - p) (\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (2.15)$$

dengan :

dN_i = jumlah molekul yang menguap

dt = selang waktu terjadinya evaporasi

A_e = luas permukaan

m = massa evaporan

k = konstanta Boltzmann ($1,38062 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$)

T = temperatur mutlak (K)

p^* = tekanan pada kondisi kesetimbangan

p = tekanan yang bekerja pada permukaan yang menguap

α = koefisien evaporasi yaitu rasio dari laju evaporasi yang teramati dengan laju evaporasi teoritik

Nilai α sangat bergantung pada kebersihan permukaan evaporan dan memiliki rentang nilai dari permukaan kotor dengan nilai rendah hingga bernilai 1 untuk permukaan yang bersih.

Atom yang menguap dan bertabrakan dengan partikel asing dapat bereaksi dengan partikel tersebut. Misalnya jika aluminium disimpan dengan adanya oksigen maka akan membentuk oksida aluminium. Partikel asing juga mengurangi jumlah uap material sumber yang mencapai substrat, yang membuat ketebalan sulit dikendalikan.

Bentuk permukaan substrat mempengaruhi keseragaman ketebalan lapisan tipis. Material yang menguap akan terdeposisi tidak seragam jika substrat memiliki permukaan yang kasar.

Saat penguapan dilakukan dalam kondisi vakum yang rendah atau mendekati tekanan atmosfer, deposisi yang dihasilkan umumnya tidak seragam dan cenderung tidak menjadi sebuah film yang kontinu atau halus. Deposisi yang dihasilkan menjadi tidak jelas (kabur).

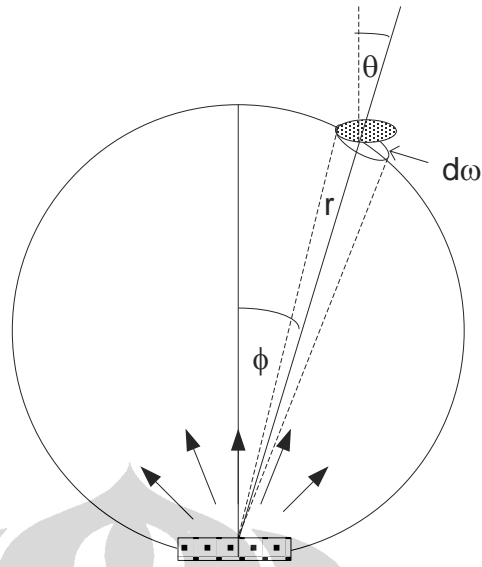
Mikrostruktur material lapisan tipis yang didepositkan melalui proses vakum evaporasi bergantung pada beberapa factor namun utamanya pada energi spesis (adatom) yang mengenai substrat. Energi ini bergantung pada proses deposisi dan sumber atom. Energi tersebut bernilai puluhan eV untuk termal evaporasi hingga puluhan hingga ratusan eV untuk sputtering, energi yang lebih tinggi digunakan dalam ion implantation dan ion milling. Selain itu hal yang mempengaruhi mikrostruktur lapisan tipis adalah mobilitas spesis yang terdeposisi pada substrat dan bergantung pada energi spesis yang datang, temperatur substrat, ion bombardment, morfologi dan kebersihan substrat, reaksi antarmuka pada permukaan, sudut deposisi dan rotasi substrat.

2.6. Ketebalan Lapisan Tipis

Dalam proses evaporasi ada dua macam tipe sumber yaitu sumber titik yang memiliki emisi ke semua arah dan sumber permukaan yang memiliki distribusi serupa dengan permukaan datar dimana intensitas emisi merupakan fungsi kosinus sudut antara arah emisi dan normal terhadap permukaan (Macleod, 2010; Holland, 1970; Ohring, 1992; Martin, 2005). Evaporasi dari suatu daerah yang kecil atau sumber permukaan termasuk dalam tipe sumber permukaan seperti filament boat dan krusibel lebar yang berisi material yang dilelehkan untuk dievaporasikan. Ilustrasi evaporasi dari sumber permukaan ditunjukkan pada Gambar 2.10. Distribusi material yang diemisikan dari suatu sumber permukaan diberikan oleh persamaan berikut :

$$dM = \frac{m}{\pi} \cos \phi d\omega \quad (2.16)$$

dengan m adalah massa total material yang diemisikan dari sumber ke segala arah, ϕ adalah sudut emisi evaporasi, θ adalah sudut datang fluks evaporan dan dM adalah jumlah material yang melewati melalui sudut $d\omega$.

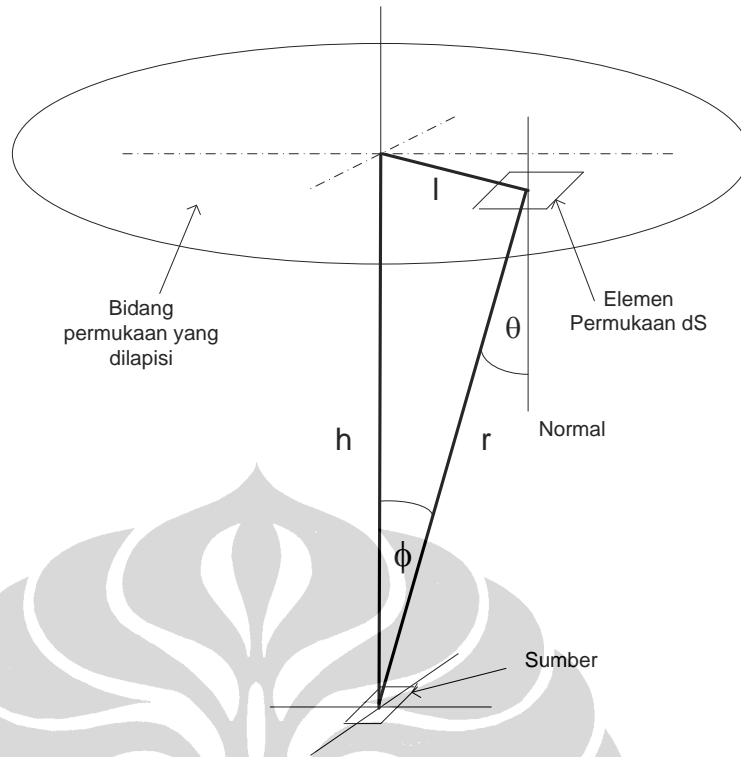


Gambar 2.10. Evaporasi dari sumber permukaan

Ketebalan lapisan tipis yang dibuat dengan proses vakum evaporasi dapat diketahui dengan memperhitungkan geometri seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11. Bila material yang didepositkan pada suatu elemen permukaan substrat dS yang memiliki normal pada sudut terhadap arah sumber dari elemen tersebut, maka jumlah material yang akan terkondensasi pada permukaan substrat untuk sumber permukaan diberikan oleh persamaan berikut :

$$dM = \frac{m}{\pi} \cdot \frac{\cos\phi \cos\theta}{r^2} dS \quad (2.17)$$

dengan ϕ adalah sudut emisi dan θ adalah sudut datang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.11. Diagram yang menunjukkan geometri evaporasi dari sumber pusat pada permukaan bidang paralel

Untuk memprediksi ketebalan deposit diperlukan massa jenis material. Bila massa jenis dilambangkan dengan ρ , maka persamaan ketebalan lapisan tipis diatas menjadi :

$$t = \frac{m}{\pi \rho} \cdot \frac{\cos \phi \cos \theta}{r^2} \quad (2.18)$$

Persamaan 2.18 merupakan persamaan dasar yang digunakan oleh Holland untuk mengestimasi ketebalan dalam perhitungan keseragaman.

Untuk kasus yang paling sederhana adalah suatu plat datar diletakkan diatas parallel terhadap sumber. Disini sudut ϕ sama dengan sudut θ dan persamaan 2.18 menjadi :

$$t = \frac{mh^2}{\pi\rho(h^2 + l^2)^2} \quad (2.19)$$

dengan :

t : ketebalan lapisan (cm)

m : massa total material sumber (g)

h : jarak bidang yang dilapisi dengan sumber (cm)

l : jarak substrat ke pusat bidang yang dilapisi (cm)

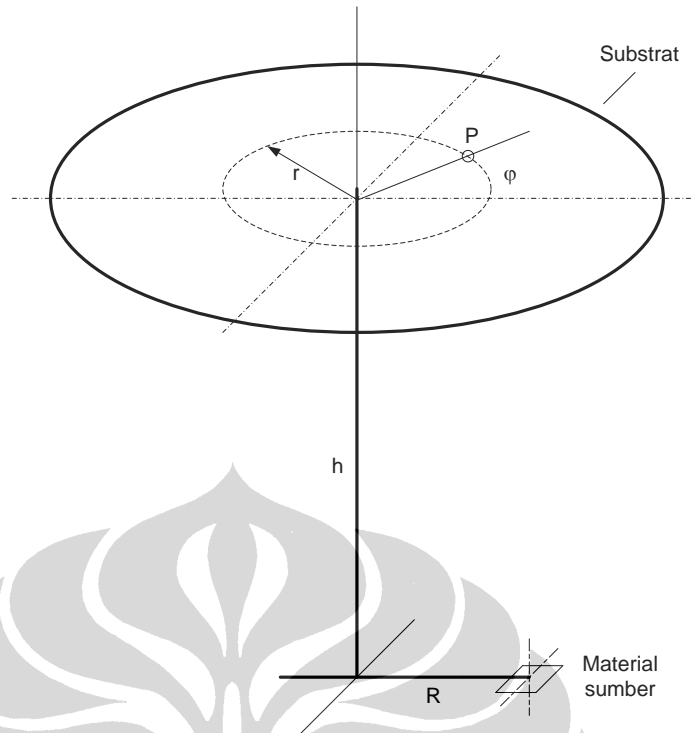
ρ : massa jenis material sumber (g/cm^3)

Untuk substrat yang berputar maka diagramnya ditunjukkan pada Gambar 2.12. Ketebalan lapisan tipis dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$t = \frac{m}{\pi\rho} \cdot \frac{h^2}{(h^2 + r^2 + R^2 - 2rR\cos\phi)^2} \quad (2.20)$$

Dengan mengintegiralkan persamaan 2.20 untuk satu lingkaran penuh maka akan diperoleh persamaan berikut :

$$t = \frac{m}{\pi\rho} \cdot \frac{h^2}{(h^2 + r^2 + R^2)^2} \cdot \frac{1}{\{1 - [2rR/(h^2 + r^2 + R^2)]^2\}^{3/2}} \quad (2.21)$$



Gambar 2.12. Diagram yang menunjukkan geometri evaporasi dari sumber stasioner pada substrat yang berputar

2.7. Adhesi Lapisan Tipis

American Society for Testing and Materials mendefinisikan adhesi sebagai kondisi dimana dua permukaan terikat bersama melalui gaya valensi atau mekanik atau keduanya (ASTM Definition D 907-70) (Martin, 2005). Dalam aplikasi teknik, adhesi adalah kekuatan fisis suatu antarmuka antar daerah suatu sistem material. Antarmuka demikian ditemukan pada batas butiran, padatan kontak (gesekan, keausan) dan dalam sistem lapisan tipis - substrat. Kegagalan adhesi adalah pemisahan material pada atau dekat antarmuka pada suatu daerah yang luas, biasanya dibawah tekanan. Kegagalan adhesi merupakan hasil akhir dari patahan dan/atau deformasi material dan tergantung pada sifat material substrat dekat antarmuka (*nearby material*), material antarmuka atau material lapisan tipis.

Kekuatan adhesi merupakan sifat makroskopik lapisan tipis – substrat yang irreversible dan dapat diketahui dari pengujian. Adhesi yang baik adalah bila daerah antarmuka (atau material dekat) tidak rusak dibawah kondisi pengujian.

Sifat mekanik material antarmuka merupakan hal yang penting untuk menghasilkan adhesi yang baik. Material antarmuka dapat memiliki komposisi,

struktur mikro dan sifat-sifat yang berbeda dengan material bulk. Suatu antarmuka dapat berbentuk kasar atau halus.

Pembentukan atau keberadaan daerah antarmuka dapat mempengaruhi komposisi, tekanan atau mikrostruktur material dekat (lapisan atau substrat) yang dapat diperlemah oleh beberapa proses seperti pembentukan difusi atau cacat.

Untuk memahami hal-hal yang berpengaruh pada adhesi, maka perlu diketahui tahap-tahap pembentukan lapisan tipis. Tahap pembentukan lapisan terdeposit secara atom dapat dibagi menjadi lima bagian yaitu : (i) persiapan permukaan; (ii) kondensasi dan nukleasi atom; (iii) pembentukan antarmuka; (iv) pertumbuhan lapisan; untuk beberapa kasus (v) perlakuan setelah deposisi. Karakteristik tahap tersebut bervariasi tergantung pada parameter proses. Sebagai contoh : (i) pemanasan substrat merupakan variabel proses yang sangat penting; (ii) sudut datang fluks material deposit penting dalam pembentukan morfologi lapisan; (iii) penembakan partikel energetik secara bersamaan selama deposisi dapat digunakan untuk memodifikasi semua tahap penumbuhan lapisan.

Persiapan permukaan didefinisikan sebagai perlakuan suatu permukaan untuk memperoleh proses, fungsi atau stabilitas yang baik. Persiapan permukaan meliputi : (i) pembersihan; (ii) modifikasi permukaan secara kimia; (iii) modifikasi sifat permukaan secara fisis atau morfologi; (iv) pembentukan tempat nukleasi atau penambahan agen nukleasi (*sensitization*); dan (v) aktivasi permukaan untuk membuat permukaan reaktif secara kimia.

Ketika *adatom* (atom evaporan) mengenai suatu permukaan, maka akan memiliki derajat mobilitas di atas permukaan sebelum mengalami nukleasi dan kondensasi. Kerapatan nukleasi *adatom* pada suatu permukaan substrat (dan tahap penumbuhan) menentukan area kontak antarmuka dan pembentukan rongga (*void*) antarmuka. Biasanya kerapatan nukleasi yang tinggi sangat diharapkan untuk adhesi lapisan yang baik. Kerapatan nukleasi bergantung pada energi kinetik dan mobilitas permukaan *adatom*, reaksi kimia dan difusi *adatom* dengan permukaan, spesies permukaan teradsorpsi dan ketersediaan tempat nukleasi.

Pembentukan antarmuka akan berlangsung selama nukleasi *adatom* pada permukaan dan dapat berlangsung selama proses deposisi dan bahkan selama

proses setelah deposisi, proses selanjutnya dan selama penggunaan, tergantung kondisi.

Adhesi umumnya merupakan persyaratan dasar kebanyakan sistem lapisan terdeposit/substrat. Dalam teknologi PVD adhesi terjadi pada tingkat atom antara atom-atom dan pada tingkat makroskopik antara permukaan substrat dan lapisan terdeposit. Adhesi umumnya diukur dengan mengaplikasikan gaya eksternal pada struktur lapisan tipis hingga suatu tingkat yang menyebabkan kegagalan antara lapisan dan substrat atau dalam material dekat antarmuka (material dekat). Gaya terapan ini menempatkan energi ke dalam sistem lapisan substrat yang menyebabkan regangan dan patahan ikatan kimia. Adhesi yang hilang disebut deadhesi dapat terjadi pada antarmuka yang tajam (kasar) antara material, dalam daerah dekat antarmuka dari substrat atau dalam daerah dekat antarmuka dari lapisan terdeposit atau antara lapisan dalam struktur lapisan berlapis. Dengan demikian deadhesi melibatkan kegagalan adhesif dan kohesif. dalam teknologi PVD, adhesi harus baik setelah proses deposisi lapisan, setelah proses selanjutnya dan sepanjang penggunaan. Hal ini membutuhkan evaluasi adhesi yang melibatkan suatu program uji adhesi yang mengevaluasi struktur lapisan pada semua faktor yang dapat menurunkan adhesi. Hal ini meliputi : mekanik, kimia, elektrokimia, termal dan berbagai tipe kelelahan yang melibatkan waktu yang lebih lama.

Secara eksperimen adhesi dapat diukur dengan dua cara yaitu (Bunshah, 2001) :

1. Pengukuran gaya : gaya adhesi ditentukan dari gaya maksimum per satuan luas untuk memisahkan lapisan dari substrat.
2. Pengukuran energi : kerja adhesi (W_{AB}) diketahui dari kerja yang dilakukan dalam memisahkan lapisan (A) dari substrat (B) yang diberikan oleh persamaan energi Dupre:

$$W_{AB} = \gamma_A + \gamma_B - \gamma_{AB} \quad (2.22)$$

dengan γ_A dan γ_B merupakan energi bebas permukaan spesifik A dan B dan γ_{AB} adalah energi bebas antarmuka spesifik.

Dalam beberapa kasus adhesi lapisan bisa meningkat atau menurun dengan waktu pada kondisi ambien. Peningkatan adhesi dapat disebabkan difusi spesies

reaktif pada antarmuka atau penurunan tekanan sisa. Adhesi lapisan dapat menurun seiring dengan waktu dan dapat disebabkan oleh patahan kelelahan statis pada antarmuka karena tegangan sisa dan didorong oleh adanya uap air atau korosi dari antarmuka oleh lingkungan atau spesies yang terperangkap.

Untuk memiliki adhesi yang baik permukaan substrat dan material dekat-permukaan harus memiliki ketangguhan patahan yang tinggi. Permukaan tidak mengandung cacat yang menjadi bagian dari wilayah antarmuka karena cacat ini akan melemahkan wilayah antarmuka. Sifat penghalang permeasi / difusi bahan substrat menjadi penting. Misalnya, salah satu modus kegagalan dari aluminium metalisasi plastik film adalah difusi air dari sisi yang tidak dilapisi dari permukaan polimer.

Adhesi yang rendah dapat disebabkan oleh derajat ikatan kimia yang rendah (yang dibuktikan dengan densitas nukleasi yang rendah), kontak antarmuka yang rendah, kekuatan patahan yang rendah (material getas, cacat. Tekanan), tekanan lapisan residu yang tinggi dan mekanisme degradasi operasional. Adhesi yang rendah dapat terlokalisasi, menghasilkan kegagalan lokal pada tekanan (*pinhole, nodul, spallation*).

Adhesi dapat hilang yang disebabkan tekanan non mekanik seperti korosi atau larutan material antarmuka, pembentukan cacat, difusi ke atau keluar dari antarmuka spesies yang mempengaruhi adhesi, presipitasi spesies difusi (misalnya H, He) pada antarmuka atau proses lelah statis yang menyebarkan cacat yang ada dalam material getas. Proses degradasi tersebut tergantung waktu, temperatur dan lingkungan.

Metoda-metoda yang digunakan untuk memperoleh adhesi adalah reduksi energi permukaan, energi patahan yang tinggi pada daerah antarmuka atau penggunaan agen pengikat untuk menghasilkan permukaan baru.

Persiapan substrat sangat penting dan morfologi permukaan dan komposisi substrat dapat dimodifikasi oleh difusi, perlakuan plasma, kimia etsa, dan perlakuan panas reaktif. Permukaan yang dihasilkan akan mempengaruhi sifat, struktur, adhesi, dan tekstur permukaan dari lapisan tipis. Sebagai contoh, ion atau nitridasi gas mengeraskan permukaan *stainless steel* dan secara signifikan meningkatkan kinerja pelapis yang dideposit ke permukaan.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Garis Besar Pelaksanaan Eksperimen

Ruang lingkup penelitian ini meliputi pembuatan dan pengujian hasil-hasil pembuatan lapisan tipis Al. Tahap-tahap yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Tahap persiapan yang meliputi persiapan bahan dan alat.
2. Tahap pembuatan substrat gelas yang meliputi pemotongan, pengasahan, pemolesan, pencucian dan pembungkusan substrat BK7.
3. Tahap pembuatan lapisan tipis meliputi persiapan bahan dan alat, pembuatan lapisan tipis pada substrat menggunakan mesin coating optik dengan metoda evaporasi.
4. Tahap pembuatan fixture sebagaiudukan alat dan sampel yang meliputi perancangan, pembuatan dan pengujian fixture.
5. Tahap pengujian meliputi pengujian durabilitas lapisan tipis, pengukuran transmitansi gelas BK7, pengukuran transmitansi dan spektrum cahaya pada daerah gelombang tampak menggunakan spektrofotometer yang telah dikalibrasi, dan pengukuran dimensi *beam profile*.
6. Tahap pembuatan laporan meliputi penulisan kegiatan penelitian, hasil pembuatan, pengujian dan analisa lapisan tipis.

Dalam percobaan ini dilakukan pembuatan lapisan tipis Al pada substrat gelas BK7 menggunakan metoda evaporasi vakum. Material sumber yang digunakan adalah aluminium dengan kemurnian 99,99% dalam bentuk kawat. Massa material yang digunakan adalah 13 mg, 15 mg, 20 mg, 25 mg, 30 mg dan 190 mg. Tidak ada perlakuan khusus pada material sumber ini. Material sumber diletakkan pada kawat pemanas yang terbuat dari logam tungsten.

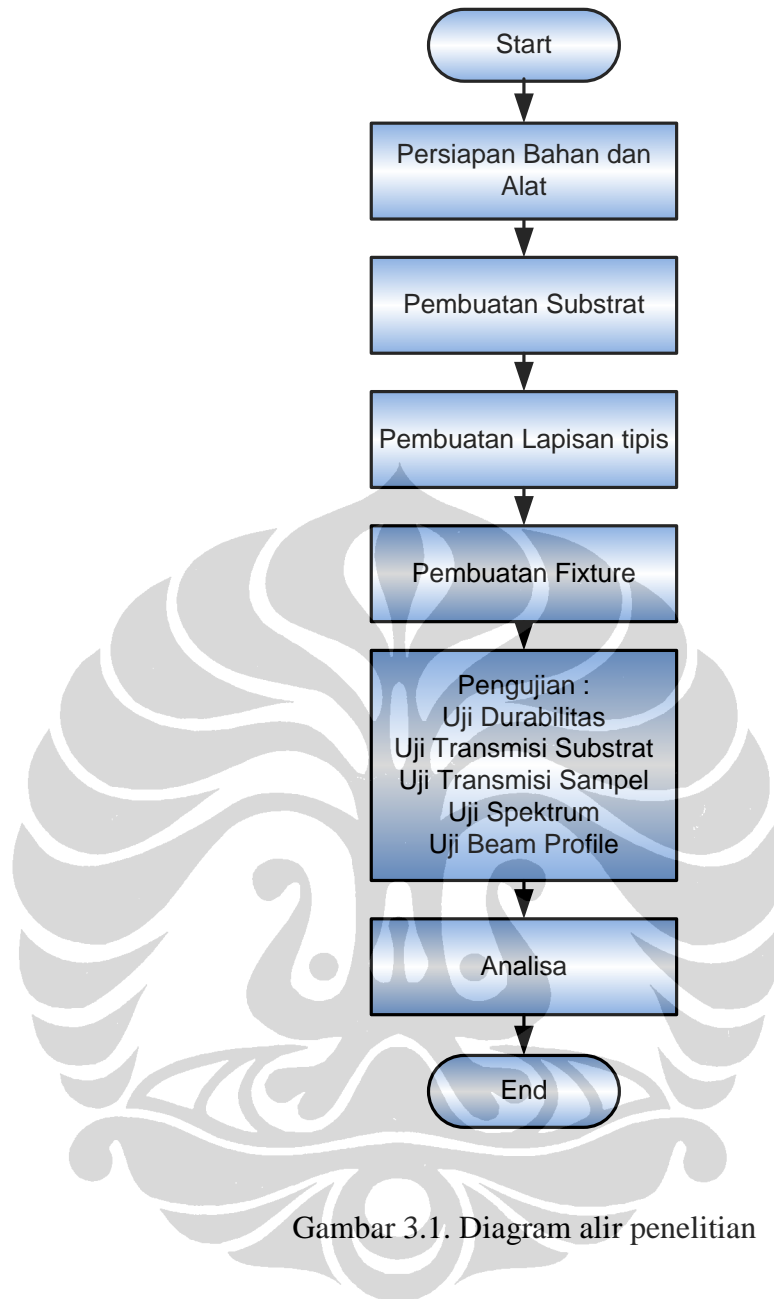
Substrat yang digunakan adalah gelas korona (BK7) berukuran 25 x 25 x 1 mm. Proses pembuatan substrat meliputi pemotongan, pengasahan dan pemolesan. Sebelum digunakan substrat gelas dibersihkan dari kotoran

menggunakan kapas, aseton dan etanol agar logam aluminium dapat terdeposisi dengan baik pada permukaan substrat.

Pembuatan lapisan tipis dilakukan menggunakan mesin coating optik Auto 306 Edwards dengan metoda evaporasi pada tekanan 10^{-5} torr. Sebelum dilakukan coating pada substrat, ruangan evaporasi dan substrat dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran dan debu menggunakan etanol dan aseton agar material pelapis dapat terdeposisi dengan baik pada substrat. Material sumber diletakkan pada elemen pemanas mesin coating. Sedangkan substrat gelas BK7 yang telah dipoles diletakkan pada pemegang substrat yang dapat berputar. Elemen pemanas kemudian dialiri arus dengan memutar pengatur arus (*current regulator*) secara perlahan. Elemen pemanas akan memanaskan material sumber sampai menguap dengan metoda pemanasan tahanan (*resistance heating*). Uap logam yang terbentuk akan terdeposisi pada substrat gelas membentuk lapisan tipis logam.

Lapisan tipis logam yang diperoleh kemudian diuji untuk mengetahui kinerja lapisan tipis *beam splitter*. Ada empat jenis pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu uji durabilitas lapisan tipis Al, uji transmitansi gelas BK7 dan lapisan tipis Al, uji spektrum cahaya transmisi dan uji dimensi *beam profile*. Pengujian durabilitas dilakukan pengosokan lapisan tipis menggunakan karet penghapus. Pengujian transmitansi dan spektrum cahaya transmisi dilakukan menggunakan spektrofotometer yang telah dikalibrasi untuk mengetahui transmitansinya pada daerah gelombang tampak (400 – 650 nm). Sedangkan uji *beam profile* dilakukan menggunakan jangka sorong digital dengan sumber cahaya sinar laser hijau. Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.

Pembuatan *beam splitter* dilaksanakan di Laboratorium Optik Puslit KIM LIPI Puspiptek Serpong. Laboratorium tersebut memiliki peralatan untuk mendukung pelaksanaan kegiatan penelitian ini. Sebagai pendukung terdapat Laboratorium Fotometri di Puslit KIM LIPI untuk proses pengukuran transmitansi dan spektrum cahaya transmisi terhadap sampel lapisan tipis yang dibuat. Sedangkan untuk pengukuran *beam profile* dilakukan di lapangan Puspiptek Serpong.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

3.2. Tahap Persiapan

Tahap persiapan adalah tahap dimana peralatan dan bahan yang dibutuhkan untuk proses penelitian dipersiapkan dan dicek kondisinya apakah masih baik atau tidak. Jika ada peralatan dan bahan yang belum ada, maka perlu dipersiapkan terlebih dahulu. Persiapan disini meliputi bahan dan peralatan yang dibutuhkan untuk pembuatan substrat, pembuatan lapisan tipis, pengujian dan pembuatan laporan. Semua bahan dan peralatan perlu dipastikan baik kondisinya sehingga secara layak dapat digunakan dalam penelitian ini.

Setelah dipastikan semua peralatan dan bahan kondisinya baik, maka langkah selanjutnya adalah melakukan setting atas semua peralatan yang dibutuhkan sehingga siap digunakan untuk melakukan percobaan.

3.3. Tahap Pembuatan Substrat

Pada tahap ini dilakukan pembuatan substrat sebagai tempat deposisi lapisan tipis aluminium. Ada lima tahap dalam pembuatan substrat yaitu pemotongan, pengasahan, pemolesan, pencucian dan pembungkusan substrat (Bass, 2010). Substrat yang akan digunakan adalah bahan gelas BK7 berbentuk lembaran (*slab*) berukuran 20 x 20 x 0,2 cm dan memiliki permukaan yang kasar dan opak.

3.3.1 Bahan dan Alat yang dipakai

Pada tahap ini dilakukan persiapan bahan dan alat yang akan digunakan untuk pembuatan substrat. Bahan dan peralatan yang disiapkan dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan 3.2. Peralatan dan mesin yang digunakan dalam proses pembuatan komponen optik seluruhnya menggunakan peralatan Lab. Optik KIM-LIPI.

Tabel 3.1. Bahan yang digunakan untuk pembuatan substrat

No	Bahan	Fungsi
1	Bahan gelas BK7	Substrat
2	Abrasives SiC (grade W220, W340, W4, dan W6), bahan poles (intan), aspal optik, arpus, sirlak, malam, gips	bahan pembuatan substrat

Tabel 3.2. Peralatan yang digunakan untuk pembuatan substrat

No	Bahan	Fungsi
1	Mesin potong	Untuk memotong substrat
2	Mesin pengasah	Untuk mengasah substrat
3	Mesin pemoles	Untuk memoles substrat
4	Oven	Untuk melelehkan lilin yang digunakan untuk menempelkan dan melepaskan substrat dari pemegang substrat
5	Jangka sorong	Untuk mengukur dimensi substrat

3.3.2. Prosedur Pembuatan Substrat

Proses pembuatan substrat dalam penelitian ini meliputi beberapa tahap sebagai berikut :

- a. Pemotongan bahan gelas sesuai ukuran yang diinginkan menggunakan mesin potong gelas.
- b. Dalam penelitian ini substrat dibuat dengan dimensi ukuran 25 x 25 x 1 mm.
- c. Pengasahan menggunakan bahan abrasif SiC (grade W220, W340, W4, dan W6) hingga diperoleh substrat dengan ketebalan satu mm. Proses ini juga untuk menghaluskan permukaan bahan gelas BK7.
- d. Pemolesan menggunakan bahan poles terbuat dari intan hingga diperoleh substrat yang bening (tembus pandang). Proses pemolesan dilakukan selama empat jam.
- e. Pencucian dengan air sabun, aseton dan alkohol masing-masing 2 (dua) kali untuk membersihkan substrat dari kotoran kemudian dikeringkan di atas tisu bersih. Substrat dipegang pada bagian pinggirnya dengan menggunakan kaus tangan katun yang bersih agar tidak mengotori permukaan substrat.
- f. Setelah kering kemudian dibungkus dengan tisu bersih dan dimasukkan dalam kantong plastik khusus dengan seal agar terjaga kebersihannya.

3.4. Tahap Pembuatan Lapisan Tipis

Pada tahap ini dilakukan pembuatan lapisan tipis pada substrat yang telah kita buat. Lapisan tipis yang akan kita buat adalah lapisan tipis aluminium. Proses pelapisan dilakukan dengan mesin coating pada tekanan rendah 10^{-6} torr.

3.4.1. Bahan dan Alat yang dipakai

Bahan dan peralatan yang digunakan untuk proses pembuatan lapisan ini dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan 3.4.

Tabel 3.3. Bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan lapisan tipis

No	Bahan	Fungsi
1	Aluminium	Material sumber (pelapis) dengan kemurnian 99,99%
2	Etanol-aseton	Cairan pembersih substrat
3	Kapas	Cairan pembersih substrat
4	Kuas halus	Membersihkan substrat
5	Kaus tangan	Untuk pelindung tangan dan mencegah kontaminasi pada substrat dan mesin coating
6	kawat wolfram	Elemen pemanas

Tabel 3.4. Peralatan yang dibutuhkan untuk pembuatan lapisan tipis

No	Alat	Fungsi
1	Mesin coating	Melapisi substrat dengan aluminium
2	Tools	Membuka dan memasang pemegang substrat
3	Tang	Memotong dan membentuk kawat aluminium
4	Pinset	Menempatkan potongan aluminium pada kawat pemanas
5	Timbangan	Menimbang material sumber

3.4.2. Pembuatan Lapisan Tipis

3.4.2.1. Persiapan Bahan dan Alat

Tahap persiapan disini meliputi persiapan substrat dan material sumber, pemasangan substrat pada pemegang substrat, pemasangan material sumber pada kawat pemanas dan persiapan mesin coating. Prosedur masing-masing persiapan akan dijelaskan pada bagian berikut.

A. Pembersihan Substrat

Persiapan substrat disini meliputi pembersihan substrat menggunakan etanol dan aseton untuk menghilangkan debu dan kotoran yang melekat pada permukaan substrat. Tujuannya agar material Al dapat terdeposisi dengan baik pada permukaan substrat. Prosedur pembersihan substrat adalah sebagai berikut :

1. Siapkan kapas, tisu, kaus tangan, etanol dan aseton.
2. Gunakan kaus tangan.
3. Teteskan etanol secukupnya pada kapas.
4. Gosok satu arah secara perlahan permukaan substrat hingga bersih. Lakukan sebanyak 10 kali.
5. Ganti dengan kapas baru. Ulangi langkah diatas sebanyak 5 kali.
6. Lakukan hal yang sama menggunakan aseton.
7. Bungkus dengan tisu bersih.
8. Masukkan dalam plastik khusus agar terjaga kebersihannya.

B. Persiapan Material Sumber

Persiapan material sumber disini meliputi pemotongan dan penimbangan kawat aluminium yang digunakan sebagai pelapis. Kawat Al yang digunakan memiliki kemurnian hingga 99,99%. Sedangkan timbangan yang digunakan adalah timbangan digital dengan ketelitian hingga 1 mg. Prosedur yang dilakukan untuk persiapan sumber adalah :

1. Siapkan timbangan, material sumber dan tang pemotong. Material sumber yang digunakan yaitu aluminium berbentuk kawat dengan kemurnian 99,99%.
2. Potong kawat Al dengan tang pemotong lalu letakkan pada timbangan.

3. Jika kurang dari berat yang diinginkan, tambahkan potongan kawat Al. Jika lebih dari yang diinginkan, potong kawat yang ditimbang hingga diperoleh berat yang diinginkan.
4. Berat material sumber yang digunakan dalam penelitian ini adalah 13, 15, 20, 25, 30 dan 190 mg.
5. Jika telah diperoleh berat yang diinginkan, kawat kemudian dibentuk huruf U dengan tang pemotong agar dapat dipasang pada lilitan pemanas mesin coating.
6. Masukkan kawat yang telah ditimbang ke dalam plastik khusus agar terjaga kebersihannya.

C. Pemasangan Substrat pada Pemegang Substrat

Pemasangan substrat pada pemegang substrat meliputi pelepasan pemegang substrat, pemasangan substrat pada pemegang substrat dan pemasangan kembali pemegang substrat di ruang evaporasi. Pemegang substrat memiliki tempat untuk memasang substrat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Adapun prosedur untuk memasang substrat pada pemegang substrat adalah sebagai berikut :

1. Siapkan obeng, kaus tangan dan substrat.
2. Gunakan kaus tangan.
3. Lepaskan sekrup pemegang substrat pada mesin coating dengan obeng.
4. Lepaskan pemegang substrat dari tempatnya ke arah bawah secara perlahan.
5. Letakkan pemegang substrat di atas tisu bersih.
6. Keluarkan substrat dari plastik dengan memegang pada bagian pinggir.
7. Pasang substrat pada pemegang substrat di tempat yang telah disediakan seperti yang diperlihatkan pada gambar 3.5.
8. Pastikan substrat terpasang dengan baik.
9. Pasang kembali pemegang substrat pada tempatnya menggunakan obeng. Pastikan pemegang substrat terpasang dengan baik pada tempatnya.



Gambar 3.2. Pemegang substrat mesin coating

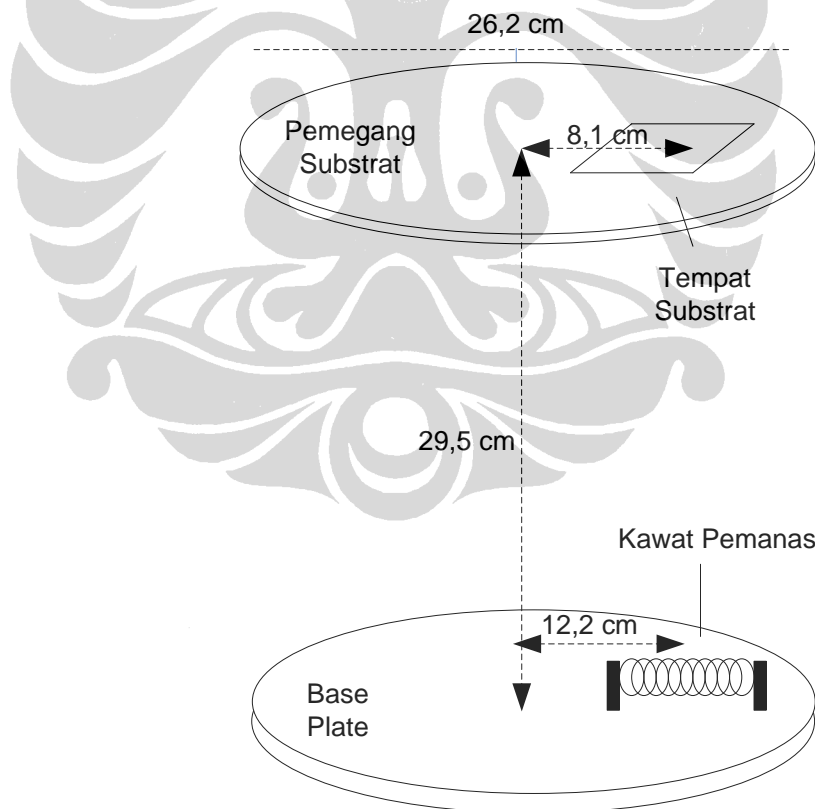
D. Pemasangan Material Sumber pada Kawat Pemanas

Material sumber yang telah dipersiapkan kemudian dipasang pada kawat pemanas untuk dievaporasi. Kawat pemanas yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3. Sedangkan posisi substrat dan material sumber dalam ruang evaporasi ditunjukkan pada Gambar 3.4. Prosedur pemasangan material sumber pada kawat pemanas sebagai berikut :

1. Siapkan material sumber, kawat pemanas (terbuat dari tungsten), pinset dan kaus tangan.
2. Gunakan kaus tangan.
3. Pasang kawat pemanas pada tempat yang telah disediakan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.5. Pastikan kawat pemanas terpasang dengan baik.
4. Keluarkan kawat material sumber Al dari plastik.
5. Pasang kawat Al pada lilitan kawat pemanas dengan menggunakan pinset. Pastikan kawat Al terpasang dengan baik pada kawat pemanas.



Gambar 3.3. Kawat pemanas tempat material sumber diletakkan



Gambar 3.4. Posisi substrat dan material sumber pada mesin coating Edward 306

E. Persiapan Mesin Coating

Mesin coating yang akan digunakan untuk pembuatan lapisan tipis perlu dipersiapkan terlebih dahulu dengan menyalakan *chiller* untuk mendinginkan mesin coating dan menjalankan pompa vakum untuk memvakumkan ruang evaporasi (BOC Edwards, 2004). Proses pembuatan lapisan tipis dilakukan dengan menggunakan mesin coating optik dengan metoda evaporasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5. Prosedur untuk persiapan mesin coating dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Pastikan kawat Al dan substrat telah terpasang pada tempatnya di mesin coating.
2. Tutup pintu ruang evaporasi.
3. Nyalakan *chiller* untuk mendinginkan pompa vakum.
4. Hubungkan mesin coating dengan *power supply* listrik.
5. Pastikan tombol kran disebelah kiri bawah tutup *chamber* dalam keadaan OFF.
6. Tekan tombol ON.
7. Pada LCD tekan tombol START. Layar akan menunjukkan DIFFUSION PUMP WARM UP.
8. Tunggu beberapa saat hingga tercapai P1 dalam orde 10^{-2} mbar dan P3 dalam orde 10^{-5} mbar. Layar *touch screen* menunjukkan DP READY'.
9. Jika ingin mematikan mesin tekan tombol SEAL, STOP.
10. Setelah kondisi di atas tercapai, maka tekan tombol CYCLE untuk menguji fungsi pompa, pemanas dan penutup dalam chamber.
11. Jika semua fungsi mesin coating dalam kondisi baik, maka mesin coating siap untuk digunakan untuk membuat lapisan tipis.



Gambar 3.5. Mesin Coating Edward 306 yang digunakan untuk pembuatan lapisan tipis Al

3.4.2.2. Evaporasi Material Sumber

Setelah material sumber terpasang pada kawat pemanas, substrat gelas BK7 terpasang pada pemegang substrat dan kevakuman ruang evaporasi mencapai 10^{-6} torr, maka langkah selanjutnya adalah memutar pemegang substrat. Selama proses evaporasi pemegang substrat berputar agar diperoleh ketebalan lapisan yang seragam pada seluruh bagian substrat (Martin, 2005; Macleod, 2010; Holland, 1970; Hobbs, 2009; Wiley, 2006).

Setelah pemegang substrat berputar, maka proses selanjutnya adalah mengalirkan arus ke kawat pemanas. Proses pengaliran arus ke kawat pemanas dilakukan secara perlahan agar uap yang dihasilkan berukuran kecil sehingga dapat diperoleh lapisan tipis dengan permukaan yang halus. Proses evaporasi dilakukan hingga seluruh material sumber teruapkan seluruhnya.

Setelah proses evaporasi selesai, maka pemutaran pemegang substrat dihentikan dan substrat dibiarkan dalam ruang vakum selama kurang lebih satu jam agar lapisan yang terbentuk terdeposisi secara sempurna. Hal ini juga untuk

mencegah terjadinya stress pada permukaan lapisan tipis yang terjadi akibat perubahan tekanan udara secara tiba-tiba. Prosedur untuk pembuatan lapisan tipis aluminium pada substrat gelas BK7 adalah sebagai berikut :

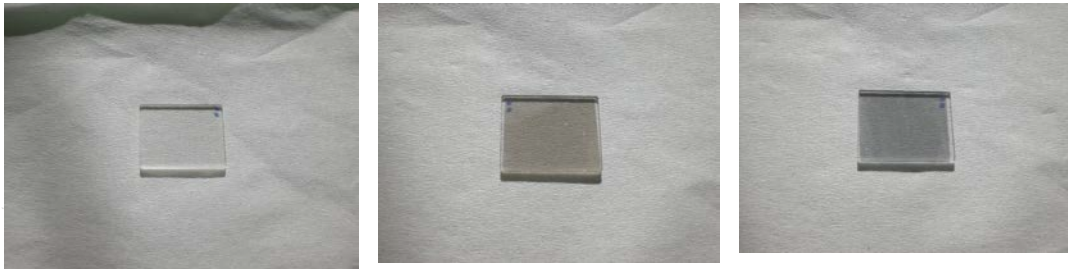
1. Pada LCD tekan tombol SEAL, PROCESS. Tunggu hingga P1 (10^{-2} mbar), P2 (10^{-4} mbar) dan P3 (10^{-6} mbar).
2. Nyalakan tombol pemegang substrat (*Rotary Holder*) ON, START.
3. Putar switch POWER ke posisi LT pada papan panel no 1.
4. Putar tombol CURRENT untuk mengatur arus. Amati apakah material sumber menguap. Jika kawat aluminium sudah menguap, maka lepaskan tombol arus. Material sumber aluminium dievaporasi hingga habis.
5. Jika kawat aluminium telah terevaporasi seluruhnya, maka proses pelapisan substrat telah selesai.
6. Putar tombol arus ke posisi NOL.
7. Putar tombol LT ke posisi NOL.
8. Matikan tombol pemegang substrat (*Rotary Holder*) START, OFF.
9. Pada LCD tekan tombol SEAL.
10. Tekan tombol VENT. Tunggu beberapa saat hingga kran pompa difusi CLOSE.
11. Gunakan sarung tangan.
12. Setelah kran difusi CLOSE, buka *chamber*.
13. Lepaskan substrat dari pemegang substrat dan taruh ditempat yang bersih. Tutup kembali *chamber*.
14. Pada LCD tekan tombol SEAL, STOP. Tunggu beberapa saat hingga pompa rotary OFF. Tekan tombol ON/OFF untuk mematikan.
15. Biarkan air pendingin mengalir hingga 30 menit untuk mendinginkan pompa difusi.
16. Jika sudah 30 menit matikan *chiller* dengan memutar tombol ke kiri untuk OFF. Putar kran IN dan OUT tegak lurus dengan pipa IN dan OUT.

3.4.2.3. Pembungkusan Sampel

Sampel *beam splitter* yang telah dibuat ditunjukkan pada Gambar 3.6. Sampel - sampel tersebut perlu dibungkus untuk menjaga kebersihan sampel dari pengaruh lingkungan seperti kotoran, debu, uap air dan jamur. Disamping itu pembungkusan sampel juga berfungsi untuk melindungi sampel dari interaksi mekanik seperti benturan dan goresan yang dapat mengakibatkan sampel pecah atau tergores.

Pembungkusan sampel dilakukan menggunakan tisu bersih dan plastik khusus dengan seal dan disimpan dalam kotak khusus. Prosedur pembungkusan sampel *beam splitter* adalah sebagai berikut :

1. Setelah satu jam, maka tekanan udara pada ruang evaporasi dapat dikembalikan ke kondisi ambien.
2. Pemegang substrat dilepaskan dengan menggunakan tools dan diletakkan pada tempat yang bersih.
3. Dengan menggunakan kaus tangan, substrat kemudian dilepaskan dari pemegang substrat dan diletakkan di atas tisu yang bersih.
4. Substrat kemudian dibungkus dengan tisu yang bersih.
5. Sampel yang telah dibungkus dengan tisu dimasukkan dalam plastik dengan seal agar kedap udara.
6. Setiap sampel dibungkus dengan tisu dan tidak disatukan dengan sampel yang lain untuk menghindari kerusakan sampel.
7. Simpan sampel yang telah dibungkus plastik dalam kotak khusus.



SAMPEL 1

$m = 13 \text{ mg}$

$T = 92,4\%$

SAMPEL 2

$m = 15 \text{ mg}$

$T = 87,7\%$

SAMPEL 3

$m = 20 \text{ mg}$

$T = 61,4\%$



SAMPEL 4

$m = 25 \text{ mg}$

$T = 50,4\%$

SAMPEL 5

$m = 30 \text{ mg}$

$T = 36,3\%$

SAMPEL 6

$m = 190 \text{ mg}$

$T = 4,7\%$

Gambar 3.6. Sampel *beam splitter* yang telah dibuat

3.5. Tahap Pembuatan Fixture

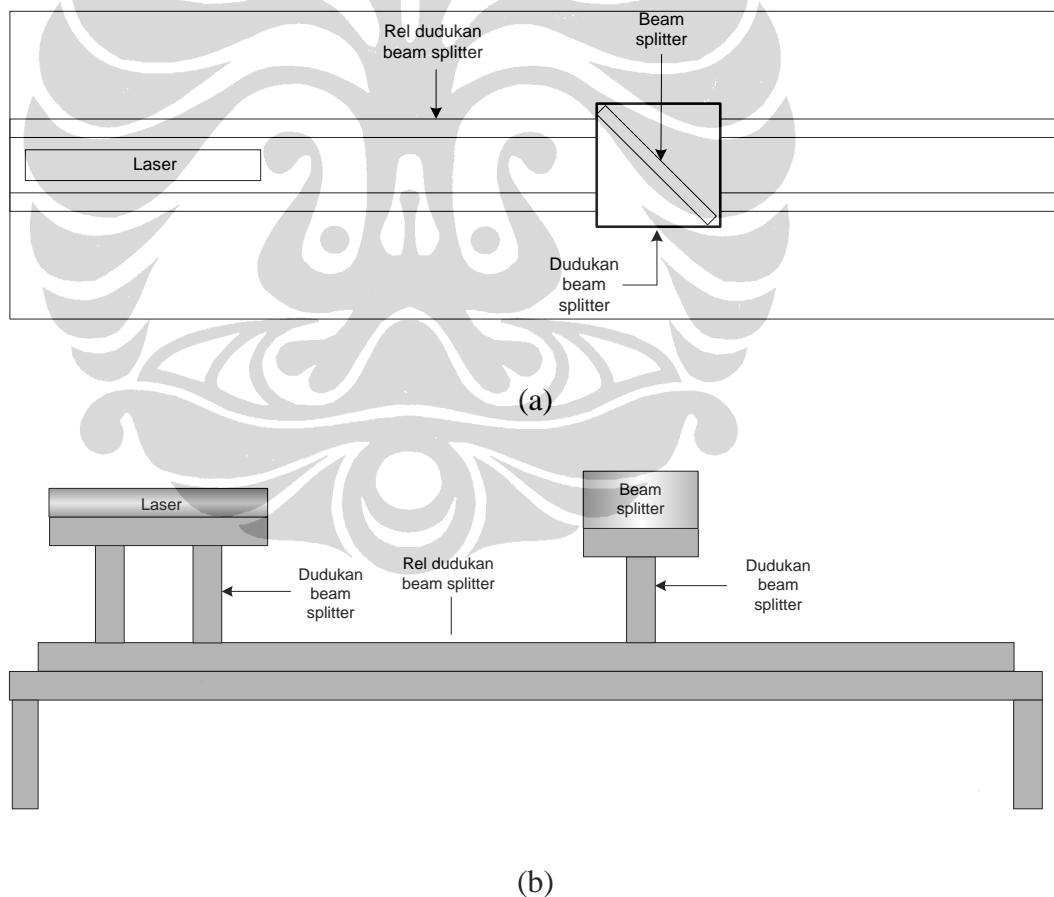
Fixture adalah dudukan alat dan sampel yang digunakan untuk keperluan suatu pengujian. Fungsinya agar alat dan sampel yang diuji terletak dalam posisi dan kondisi yang diinginkan dalam suatu pengujian sehingga memenuhi persyaratan pengujian. Selain itu juga untuk memudahkan operator dalam proses pengujian.

Dalam penelitian ini *fixture* dibuat untuk dudukan laser hijau dan *beam splitter*. *Fixture* dibuat dari bahan tripleks dan *thickblock* dengan pertimbangan mudah dibentuk, harganya relatif murah, mudah diperoleh di pasaran.

Dudukan laser hijau dibuat tetap (*fix*) sedangkan dudukan *beam splitter* dibuat bergerak (*moving*) yang dapat diatur jaraknya dari laser. Dudukan *beam splitter* dapat diatur jaraknya dari laser karena ditempatkan pada suatu rel dan mampu meletakkan *beam splitter* sejauh 40 cm dari laser. Dudukan laser dan

beam splitter dibuat pada suatu garis lurus sehingga sinar laser tepat mengenai pusat *beam splitter*. Skema fixture untuk pengujian *beam splitter* dapat dilihat pada Gambar 3.7. Sedangkan foto fixture yang dibuat adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8.

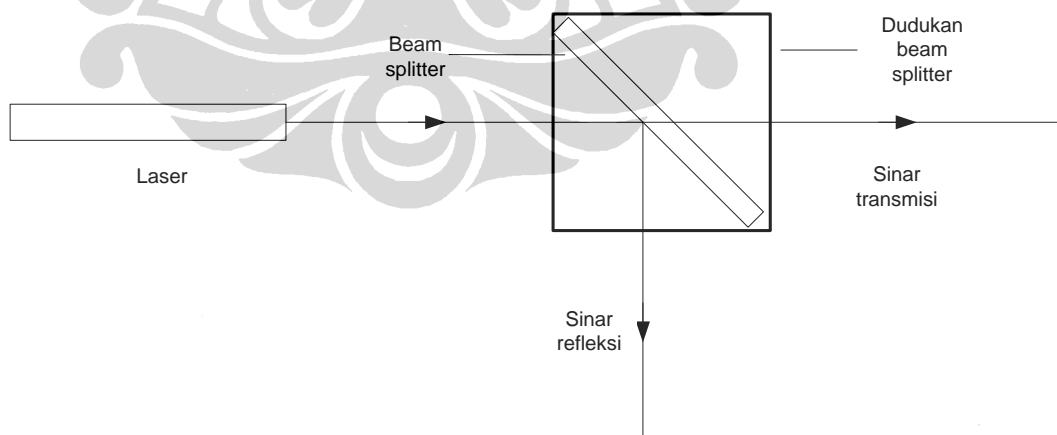
Dudukan *beam splitter* berbentuk bujur sangkar yang memiliki ukuran panjang dan lebar sama. Pada bagian tengah diagonal bujur sangkar dibuat tempat *beam splitter* sehingga diperoleh posisi *beam splitter* 45° terhadap pancaran sinar laser. Dipilih posisi *beam splitter* 45° terhadap horizontal karena posisi ini merupakan posisi yang umum digunakan pada peralatan yang menggunakan *beam splitter*. Dengan posisi demikian bila sinar laser mengenai *beam splitter*, maka akan diperoleh sinar datang, sinar transmisi dan sinar refleksi yang saling tegak lurus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.7. Skema *fixture* untuk pengukuran dimensi *beam profile* (a) tampak atas, (b) tampak samping



Gambar 3.8. *Fixture* untuk pengukuran dimensi *beam profile*



Gambar 3.9. Skema sinar datang, sinar refleksi dan transmisi suatu sinar laser yang mengenai *beam splitter*

3.6. Tahap Pengujian

3.6.1. Uji Durabilitas Lapisan Tipis Al

Pengujian durabilitas lapisan tipis berguna untuk mengetahui daya rekat lapisan tipis yang terbentuk pada substrat. Kekuatan rekat yang baik diperlukan agar lapisan tipis yang dibuat mampu bertahan dalam jangka waktu yang lama.

3.6.1.1. Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang dibutuhkan untuk uji durabilitas lapisan tipis Al adalah penghapus karet dan sampel.

3.6.1.2. Metoda Uji Durabilitas Lapisan Tipis Al

Pengujian dilakukan pada 6 sampel yang dibuat. Sedangkan standar yang digunakan adalah standar untuk teropong bidik militer TNI Syarat-syarat Tipe (SST) Teropong Medan Perorangan.

Pengujian durabilitas dilakukan dengan menggosokkan penghapus karet standar yang lunak dengan tekanan sedang (seperti menekan penghapus pada kertas) pada permukaan lapisan tipis sebanyak 20 kali pada satu arah. Setelah penggosokan dilakukan pengamatan apakah terjadi pengelupasan lapisan tipis.

3.6.2. Uji Transmisi Gelas BK7

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas substrat gelas BK7 yang dibuat dalam mentransmisikan cahaya yang melewati gelas BK7. Dari hasil pengujian dapat diketahui persentase cahaya yang dapat ditransmisikan oleh substrat gelas BK7. Dengan demikian dapat disimpulkan apakah substrat gelas BK7 yang dibuat tersebut memenuhi nilai transmisi cahaya minimal yang ditetapkan oleh standar alat bidik senjata TNI yaitu sebesar 85%.

3.6.2.1. Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang dibutuhkan untuk uji transmisi cahaya adalah substrat gelas BK7, aseton, etanol, kapas dan photometer.

3.6.2.2. Metoda Uji Transmisi Cahaya Gelas BK7

Gelas BK7 yang digunakan telah melalui proses poles dan memiliki dimensi yang sama seperti yang digunakan untuk *beam splitter* dalam penelitian ini yaitu berukuran 25 x 25 x 1 mm. Ada lima sampel substrat gelas BK7 yang digunakan untuk pengujian ini.

Sebelum dilakukan pengukuran transmisi cahaya, substrat gelas BK7 dibersihkan terlebih dahulu dengan cairan aseton dan etanol menggunakan pembersih kapas untuk menghilangkan kotoran dan debu yang melekat pada permukaan gelas BK7. Pembersihan dilakukan berberapa kali hingga diperoleh permukaan gelas yang benar-benar bersih.

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan photometer standar yang telah dikalibrasi. Sumber cahaya yang digunakan adalah lampu *Quartz Tungsten Halogen* (QTH) 12 Volt 250 Watt. Gelas BK7 yang telah dibersihkan kemudian diletakkan pada tempat obyek yang akan diukur. Lampu sumber cahaya dinyalakan hingga mencapai kestabilan intensitas cahaya. Jika telah mencapai kestabilan kekuatan cahaya, maka dilakukan pengukuran kekuatan cahaya transmisi yang melewati substrat gelas BK7. Panjang gelombang yang digunakan adalah 590 nm. Pemilihan panjang gelombang dilakukan menggunakan monokromator yang terintegrasi dengan komputer. Pengukuran dilakukan sebanyak 5 kali tiap sampel untuk mengurangi kesalahan pengukuran. Nilai cahaya transmisi dicatat tiap kali pengukuran.

3.6.3. Uji Transmisi Cahaya Lapisan Tipis Al

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh *beam splitter* yang dibuat. Dengan mengetahui intensitas cahaya transmisi, maka dapat diketahui hubungan antara massa material sumber dan daya transmitansi cahaya.

3.6.3.1. Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang dibutuhkan untuk uji transmitansi cahaya adalah sampel uji dan photometer.

3.6.3.2. Metoda Uji Transmisi Cahaya Lapisan Tipis Al

Pengujian dilakukan menggunakan alat pengukur transmisi cahaya photometer standar yang telah dikalibrasi. Panjang gelombang cahaya yang digunakan adalah 590 nm. Pengukuran transmisi lapisan tipis Al dilakukan dengan lampu *Quartz Tungsten Halogen* (QTH) 12 Volt 250 Watt.

3.6.4. Uji Spektrum Gelombang Tampak Lapisan Tipis Al

Pengujian ini untuk mengetahui spektrum cahaya transmisi setelah melewati *beam splitter* pada daerah gelombang tampak. Dari grafik spektrum cahaya transmisi, maka dapat diketahui nilai transmisi suatu cahaya dengan panjang gelombang tertentu pada daerah panjang gelombang cahaya tampak (400 – 650 nm). Pengukuran dilakukan pada seluruh sampel yang dibuat. Dengan demikian akan dapat diketahui grafik spektrum cahaya transmisi untuk tiap sampel dengan daya transmisi tertentu.

3.6.4.1. Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang dibutuhkan untuk uji spektrum gelombang tampak adalah sampel uji dan spektrofotometer.

3.6.4.2. Metoda Uji Spektrum Gelombang Tampak Lapisan Tipis Al

Pengujian dilakukan menggunakan alat pengukur spektrum transmisi cahaya spektrofotometer standar yang telah terkalibrasi. Pengukuran spektrum cahaya dilakukan pada daerah gelombang tampak 400 – 650 nm. Pengukuran spektrum lapisan tipis Al dilakukan dengan lampu *Quartz Tungsten Halogen* (QTH) 12 Volt 250 Watt.

3.6.5. Uji Dimensi Beam Profile Sinar Laser

Pengujian ini untuk mengetahui pengaruh posisi *beam splitter* terhadap dimensi *beam profile* yang dihasilkan setelah sinar laser melewati *beam splitter*. Hal ini terkait dengan kemampuan *beam splitter* untuk menerima cahaya yang masuk yang mempengaruhi kejelasan gambar yang dihasilkan

3.6.5.1. Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang dibutuhkan dalam pengujian *beam profile* sinar laser adalah laser hijau 1000 mW, *fixture*, meteran jarak, jangka sorong digital water pass dan papan *beam profile*.

Untuk pengukuran dimensi *beam profile* digunakan laser portabel dengan pertimbangan lebih praktis, lebih ekonomis, lebih ringan, mudah diatur dan dipasang pada dudukan, dan tidak memerlukan listrik karena sumber daya yang digunakan adalah baterai isi ulang sehingga cocok digunakan untuk pengukuran outdoor.

Dalam percobaan ini digunakan laser hijau dibandingkan laser merah karena laser hijau memiliki energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan laser merah sehingga dapat digunakan untuk pengukuran jarak jauh.

Alat yang digunakan untuk pengukuran *beam profile* adalah jangka sorong digital yang memiliki ketelitian hingga 0,01 mm. Untuk pengukuran tersebut digunakan papan *beam profile* yang berfungsi untuk menangkap profile sinar laser yang dihasilkan sumber laser.

3.6.5.2. Metoda Uji Dimensi Beam Profile Sinar Laser

Beam splitter yang digunakan memiliki perbandingan transmitansi (T)/reflektansi (R)/ 50/50 seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.10. Sinar yang digunakan dalam pengujian ini adalah sinar laser hijau yang memiliki daya 1000 mW dan panjang gelombang 532 nm. *Beam splitter* diletakkan pada posisi 45° terhadap pancaran sinar laser seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11. Pancaran sinar laser diarahkan pada titik pusat *beam splitter*.

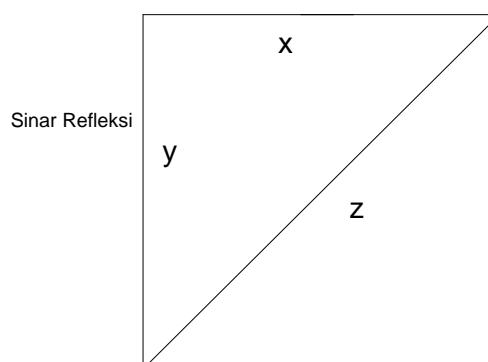
Parameter yang digunakan dalam pengujian ini yaitu jarak *beam splitter* dan jarak ukur. Jarak *beam splitter* diukur dari sumber cahaya terhadap titik pusat *beam splitter*. Dalam percobaan ini jarak *beam splitter* ditetapkan pada 10, 20, 30 dan 40 cm. Sedangkan jarak ukur yaitu jarak pengukuran antara posisi *beam splitter* dengan posisi pengukuran beam profile. Dalam penelitian ini jarak ukur ditetapkan 100, 200 dan 300 m.

Pengujian dilakukan dengan mengukur diameter dot sinar transmisi dan refleksi yang terbentuk menggunakan jangka sorong digital. Diukur pula suhu,

kelembaban dan tekanan udara pada saat pengukuran dilakukan. Untuk mengurangi kesalahan pengukuran, masing-masing pengukuran dilakukan sebanyak lima kali.

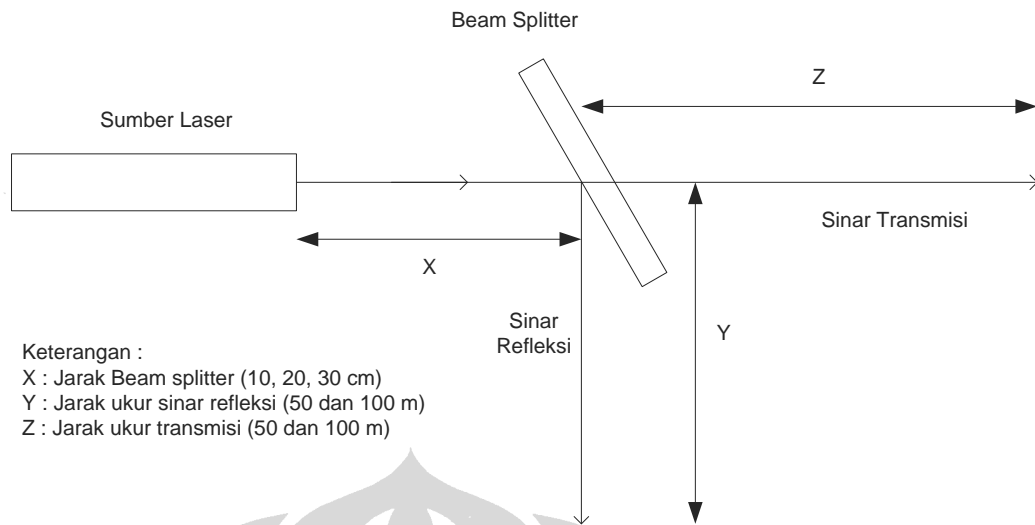
Sebelum dilakukan pengukuran dimensi *beam profile*, maka perlu dilakukan pengaturan posisi *beam splitter* terlebih dahulu. Posisi *beam splitter* perlu diatur agar tepat pada posisi 45° terhadap arah sinar. Cara untuk menentukan ketepatan posisi tersebut dilakukan dengan mengikuti hukum sinus cosinus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10. Prosedur untuk menentukan sudut 45° untuk *beam splitter* adalah sebagai berikut :

1. Letakkan *fixture* pada tempat datar.
2. Cek kedataran *fixture* dengan water pass.
1. Letakkan *beam splitter* pada dudukan *beam splitter*.
2. Ukur jarak x dan y sejauh 10 m dari posisi *beam splitter*.
3. Dengan menggunakan sumber laser, arahkan sinar ke *beam splitter* pada jarak 10 m dari *beam splitter*.
4. Ukur jarak 10 m sinar refleksi dari *beam splitter*.
5. Ukur jarak z yang menghubungkan titik x dan y.
6. Gunakan hukum sinus atau cosinus untuk menghitung nilai sudut α .
7. Selisih antara hasil perhitungan teori dan pengukuran menunjukkan kesalahan posisi sudut *beam splitter*.



Setelah diperoleh sudut *beam splitter* 45° maka dilanjutkan dengan proses pengukuran dimensi *beam profile*. Skema pengukuran dimensi *beam profile* ditunjukkan pada Gambar 3.11. Prosedur untuk pengukuran *beam profile* dengan menggunakan sumber cahaya laser hijau adalah sebagai berikut :

1. Pasang laser hijau dan *beam splitter* pada *fixture*.
3. Cek kedataran *fixture* dengan *water pass*.
4. Pasang papan *beam profile* pada jarak 100, 200 dan 300 m. Cek kedataran papan *beam profile* dengan *water pass*.
2. Nyalakan laser hijau.
3. Ukur diameter sinar laser pada jarak 100, 200 dan 300 m menggunakan jangka sorong digital dan papan *beam profile*. Lakukan pengukuran sebanyak lima kali. Catat hasil pengukuran pada lembar data yang tersedia.
4. Pasang *beam splitter* pada *fixture*.
5. Posisikan *beam splitter* pada jarak 10 cm dari laser hijau.
6. Ukur diameter sinar laser transmisi dan refleksi pada jarak 100, 200 dan 300 m menggunakan jangka sorong digital dan papan *beam profile*. Lakukan pengukuran sebanyak lima kali. Catat hasil pengukuran pada lembar data yang tersedia.
7. Ulangi langkah no 5 dan 6 untuk posisi *beam splitter* 20, 30 dan 40 cm dari laser hijau.



Gambar 3.11. Skema pengukuran *beam profile* sinar laser pada berbagai posisi *beam splitter* dan jarak ukur

3.6.6. Uji Dimensi Beam Profile Gelas BK7

Pengujian ini untuk melihat pengaruh lapisan tipis Al pada dimensi *beam profile* sinar laser. Dalam pengukuran ini dilakukan pengukuran dimensi *beam profile* yang dihasilkan substrat gelas BK7. Hasilnya kemudian dibandingkan dengan hasil yang diperoleh pada *beam splitter* 50/50 dan sehingga dapat diketahui pengaruh lapisan tipis terhadap dimensi *beam profile*.

3.6.6.1. Peralatan dan bahan

Peralatan dan bahan yang dibutuhkan dalam pengujian *beam profile* sinar laser adalah laser hijau 1000 mW, *fixture*, meteran jarak, jangka sorong digital water pass dan papan *beam profile*. Sampel yang digunakan adalah substrat gelas BK7.

3.6.6.2. Metoda Uji Dimensi Beam Profile Gelas BK7

Metoda yang digunakan sama dengan metoda pengukuran dimensi *beam profile* sebelumnya. Namun *beam splitter* diletakkan pada posisi 10 cm dari sumber laser dan dimensi *beam profile* diukur pada jarak 100 - 300 m.

BAB 4 PEMBAHASAN

4.1. Ketebalan Lapisan Tipis

Perhitungan ketebalan lapisan dilakukan untuk mengetahui ketebalan lapisan yang terbentuk pada substrat. Perhitungan ketebalan dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.21. Data posisi material sumber dan substrat diambil dari hasil pengukuran seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.4. Asumsi yang digunakan dalam perhitungan ini adalah proses evaporasi terjadi secara uniform atau homogen artinya massa per satuan luas besarnya sama untuk setiap luas penampang ruang evaporasi. Variasi ketebalan lapisan tipis terhadap massa material Al ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Ketebalan lapisan tipis Al tiap sampel

No Sampel	Massa Al (mg)	Transmitansi (%)	Ketebalan Lapisan (nm)
1	13	92,4	12941,6
2	15	87,7	14932,6
3	20	61,4	19910,1
4	25	50,4	24887,6
5	30	36,3	29865,1
6	190	4,7	189145,8

Data perhitungan ketebalan :

$$h = 29,5 \text{ cm}$$

$$r = 8,1 \text{ cm}$$

$$R = 12,2 \text{ cm}$$

$$\rho \text{ (Massa Jenis Al)} = 2,7 \text{ g/cm}^3$$

Ketebalan lapisan tipis pada suatu substrat ditentukan oleh beberapa faktor yaitu jarak sumber ke substrat, distribusi evaporasi dari sumber dan sudut penerimaan pada substrat seperti yang dinyatakan oleh persamaan 2.18 (Harsha, 2007). Substrat harus diposisikan untuk menerima fluks atom yang seragam atau digerakkan sehingga semua substrat menerima fluks evaporant yang sama. Nilai sudut ϕ dan θ bergantung pada posisi relatif substrat dan sumber evaporasi. Dalam percobaan ini substrat diletakkan pada pemegang substrat pada jarak 8,1 cm dari pusat sumbu sedangkan posisi sumber pada 12,2 cm dari pusat sumbu. Posisi demikian merupakan posisi maksimal yang paling dekat dengan sumber karena terletak pada posisi paling ujung tempat substrat dari pemegang substrat sehingga memiliki nilai ϕ dan θ paling kecil dibandingkan dengan posisi lainnya pada pemegang substrat. Pada posisi tersebut fluks evaporan yang diterima substrat lebih baik dibandingkan dengan lokasi lainnya dengan nilai sudut ϕ dan θ yang lebih besar. Disamping itu pada posisi tersebut relatif tidak banyak massa evaporan yang terbuang.

4.2. Durabilitas Lapisan Tipis

Pengujian durabilitas lapisan tipis dilakukan untuk mengetahui daya rekat lapisan tipis yang terbentuk pada substrat. Kekuatan rekat yang baik diperlukan agar lapisan tipis yang dibuat mampu bertahan dalam jangka waktu yang lama. Pengujian dilakukan pada enam sampel yang dibuat. Sedangkan standar yang digunakan adalah standar untuk teropong bidik militer.

Pengujian durabilitas dilakukan dengan menggosokkan penghapus karet standar yang lunak dengan tekanan sedang (seperti menekan penghapus pada kertas) pada permukaan lapisan tipis sebanyak 20 kali pada satu arah. Setelah penggosokan dilakukan pengamatan apakah terjadi pengelupasan lapisan tipis. Hasil pengujian durabilitas lapisan tipis ditampilkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil pengujian durabilitas lapisan tipis Al

No Sampel	Massa Al (mg)	Hasil Pengujian
1	13	Lulus
2	15	Lulus
3	20	Lulus
4	25	Lulus
5	30	Lulus
6	190	Lulus

Hasil pada Tabel 4.2 menunjukkan sampel yang dibuat mampu bertahan terhadap penggosokan dengan karet penghapus standar sebanyak 20 kali. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kevakuman 10^{-6} torr, proses pemolesan selama empat jam dan pembersihan sebanyak 50 kali dapat menghasilkan lapisan tipis dengan kualitas yang dapat memenuhi standar militer.

Durabilitas lapisan tipis optik dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu tingkat kevakuman, jenis material dan kualitas permukaan (Macleod, 2010; Holland, 1970; Hobbs, 2009; Wiley, 2006; Ohring, 1992; Mattox, 1998; Venables, 2003; Harsha, 2007; Gümüş, 2007; Martin, 2005). Semakin tinggi tingkat kevakuman deposisi, maka material sumber akan semakin mudah terdeposisi pada substrat. Hal ini terkait dengan *mean free path* yang semakin besar dimana jarak antar molekul sebelum tumbukan akan semakin besar. Dalam percobaan ini digunakan tekanan vakum dalam orde 10^{-6} torr yang tergolong baik untuk deposisi lapisan tipis.

Jenis material mempengaruhi daya rekat lapisan tipis dengan substrat yang digunakan. Hal ini terkait dengan sifat adhesi dimana terjadi gaya tarik menarik antara dua molekul yang berbeda. Material Al memiliki sifat adhesi yang baik dengan substrat gelas BK7 dibandingkan dengan perak dan emas.

Kualitas permukaan merupakan salah satu faktor yang menentukan daya rekat material sumber pada substrat gelas BK7. Kotoran dan debu akan menghalangi difusi *adatom* dengan permukaan substrat sehingga kerapatan nukleasi *adatom* menjadi rendah. Hal ini menyebabkan area kontak antarmuka

menjadi kecil sehingga adhesi lapisan menjadi rendah. Permukaan yang halus biasanya akan menghasilkan lapisan PVD yang lebih padat dibandingkan dengan permukaan yang kasar karena kekurangan dari makro-kolumnar morfologi yang dihasilkan oleh permukaan yang kasar pada permukaan substrat. Dalam percobaan ini peningkatan kualitas permukaan dilakukan dalam hal persiapan permukaan substrat yaitu dengan cara pemolesan dan pembersihan substrat yang memadai. Hasil dari peningkatan kualitas permukaan substrat, proses nukleasi awal terjadi dengan kepadatan yang cukup tinggi pada permukaan kontak yang luas sehingga menghasilkan lapisan antarmuka yang luas. Akibatnya lapisan tipis yang dihasilkan merekat dengan kuat pada permukaan substrat.

4.3. Transmittansi Gelas BK7

Pengukuran transmittansi gelas BK7 dilakukan untuk mengetahui efektivitas gelas BK7 dalam mentransmisikan cahaya yang mengenai permukaan gelas tersebut. Gelas BK7 yang digunakan telah melalui proses poles dan memiliki dimensi 25 x 25 x 1 mm. Ada lima sampel gelas BK7 yang digunakan untuk pengukuran transmittansi ini.

Pengukuran transmittansi gelas BK7 dalam percobaan ini dilakukan menggunakan alat photometer standar yang telah dikalibrasi. Pengukuran dilakukan sebanyak lima kali untuk tiap sampel dengan mengukur intensitas cahaya awal (I_0) dan cahaya transmisi (T). Data hasil pengukuran kemudian dihitung nilai rata-rata tiap sampel. Data hasil pengukuran transmittansi rata-rata tiap sampel ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Data pengukuran intensitas cahaya transmisi

NO SAMPEL	I_0 (%)	T (%)
1	100,0	92,9
2	100,0	92,9
3	100,0	93,0
4	100,0	92,9
5	100,0	92,9
RATA-RATA	100,0	92,9

Dari tabel 4.3 terlihat bahwa nilai transmitansi substrat gelas BK7 yang dibuat rata-rata sebesar 92,9%. Nilai standar intensitas cahaya transmisi yang ditetapkan dalam standar militer yang digunakan oleh TNI adalah minimal sebesar 85%. Dengan demikian substrat yang digunakan memenuhi persyaratan standar militer dan layak digunakan sebagai alat bidik senjata.

Faktor - faktor yang mempengaruhi daya transmisi cahaya pada permukaan gelas BK7 adalah kehalusan dan kebersihan permukaan substrat (Macleod, 2010; Holland, 1970; Hobbs, 2009; Martin, 2005; Wiley, 2006; Pettit, 1980; Bethea, 1981; Fernández-Perea, 2006; Almanza, 2009). Waktu proses pemolesan permukaan substrat selama empat jam dan frekuensi pembersihan substrat sebanyak 50 kali mampu menghasilkan dapat mengurangi kekasaran, partikel pengotor dan cacat permukaan seperti lubang dan retakan mikro yang menjadi sumber hamburan cahaya seperti yang telah dijelaskan pada bagian teori. Dengan berkurangnya hamburan cahaya maka intensitas cahaya yang ditransmisikan akan semakin meningkat.

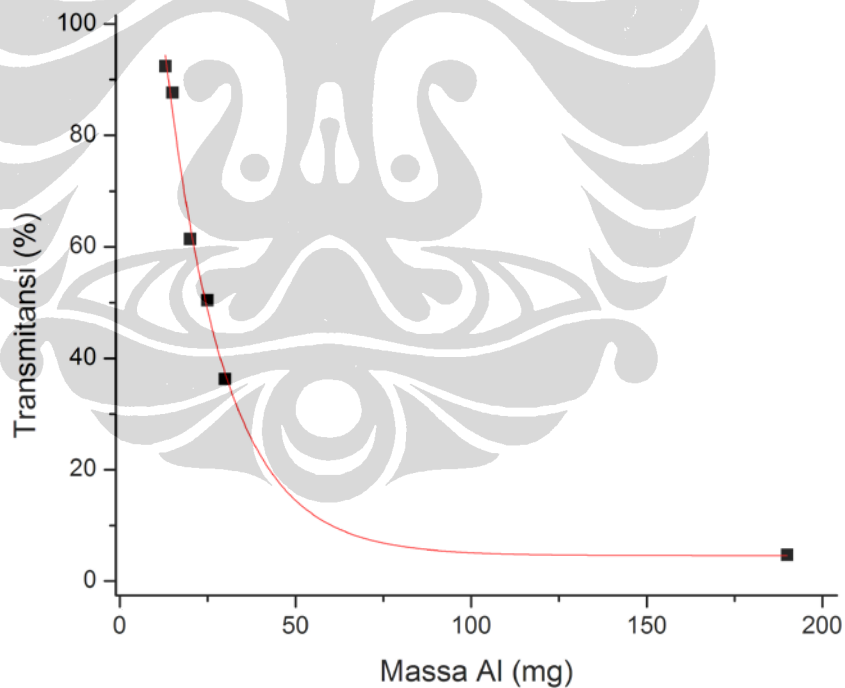
Partikel pengotor juga memiliki peran dalam mempengaruhi sifat optik suatu komponen optik. Partikel pengotor dapat menyerap dan menghamburkan cahaya yang datang sehingga mengurangi intensitas cahaya yang dapat ditransmisikan. Tujuan perlakuan permukaan dengan pembersihan disini adalah untuk mengurangi jumlah partikel pengotor agar intensitas cahaya terserap dan

terhambur seminimal mungkin sehingga cahaya yang ditransmisikan dapat maksimal.

4.4. Transmittansi Lapisan Tipis Aluminium

Dalam pengujian ini dilakukan pengukuran nilai transmittansi cahaya yang dilewatkan pada lapisan tipis Al. Pengukuran ini diperlukan untuk mengetahui nilai transmittansi lapisan tipis Al untuk massa material sumber yang berbeda sehingga dapat diketahui hubungan antara massa material sumber dan nilai transmittansi cahaya.

Pada percobaan ini pengukuran daya transmittansi cahaya dilakukan menggunakan photometer yang terkalibrasi. Hasil pengukuran transmittansi lapisan tipis aluminium pada berbagai massa aluminium ditunjukkan pada Gambar 4.2.



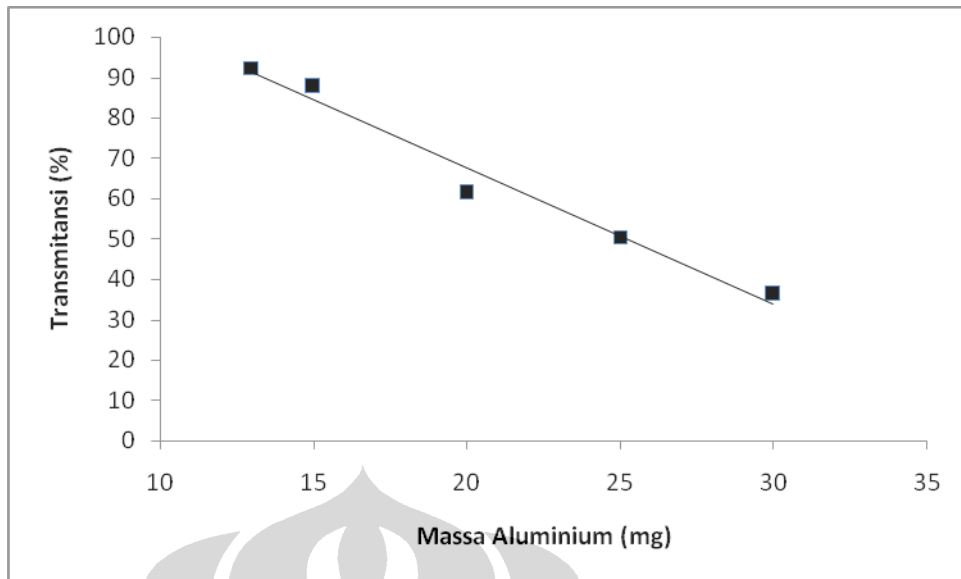
Gambar 4.1. Transmittansi lapisan tipis aluminium pada berbagai massa Al

Untuk massa Al hingga 30 mg laju penurunan transmitansi lapisan tipis Al yang terjadi cukup besar. Perubahan kecil pada massa material menghasilkan perubahan transmitansi yang signifikan. Namun untuk massa material lebih dari 30 mg bentuk kurva mulai melandai. Gradien kurva yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan pada tahap awal. Pada daerah ini dibutuhkan perubahan massa yang lebih besar untuk terjadinya perubahan transmitansi lapisan.

Dari kurva transmitansi tersebut diatas dapat diketahui bahwa kurva transmitansi lapisan tipis aluminium pada awalnya terdapat kecenderungan berbentuk linier pada daerah massa 0 – 30 mg kemudian melandai pada massa yang lebih besar.

Fenomena fisis pada kurva hubungan transmitansi lapisan tipis aluminium dan massa material terkait dengan perubahan morfologi permukaan lapisan tipis aluminium (Semaltianos, 2001). Pada lapisan dengan ketebalan yang rendah, lapisan yang terbentuk memiliki morfologi permukaan yang diskontinu berupa struktur butiran dan menghasilkan transmitansi yang tinggi. Seiring dengan meningkatnya ketebalan lapisan maka ukuran butiran akan semakin meningkat dan morfologi permukaan diskontinu semakin menurun. Transmitansi lapisan mengalami penurunan seiring peningkatan ketebalan lapisan Al. Hal ini berlangsung hingga pada suatu ketebalan tertentu dihasilkan lapisan dengan morfologi permukaan yang kontinu namun menghasilkan transmitansi yang rendah. Pada ketebalan tersebut transmitansi lapisan tipis mulai memasuki daerah kontinu. Pada ketebalan yang lebih tinggi kontinuitas lapisan semakin meningkat dan laju penurunan transmitansi lapisan semakin kecil. Hasilnya kurva transmitansi yang dihasilkan lebih landai dibandingkan dengan daerah kurva dengan lapisan yang diskontinu.

Untuk dapat memanfaatkan daerah linier maka perlu diketahui persamaan hubungan massa material dengan transmitansi lapisan tipis. Hal ini dapat dilakukan dengan cara menarik garis lurus (*trend line*) pada plot data daerah linier sehingga dapat diperoleh persamaan matematis garis tersebut seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.2. Plot data untuk daerah linier kurva transmitansi lapisan tipis aluminium pada berbagai massa Al (13 – 30 mg)

Dari grafik tersebut terdapat daerah linier yang dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan regresi linier. Hubungan regresi linier dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut (Doebelin, 1990):

$$y = ax + b \quad (4.1)$$

dengan a dan b adalah variable data. Dengan n jumlah data maka nilai a dan b dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$a = \frac{n \left(\sum_{i=1}^n x_i y_i \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (4.2)$$

$$b = \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i \right) \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n x_i y_i \right)}{n \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (4.3)$$

Kesalahan standar pengukuran S dihitung dengan metoda standar kesalahan regresi linier yang dirumuskan (Juliastuti, 2003):

$$S = \sqrt{\left[\frac{1}{n(n-2)} \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 - \frac{\left[n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) \right]^2}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \right]} \quad (4.4)$$

Dari hasil plot data pada Gambar 4.3 dengan menggunakan persamaan regresi linier 4.1 – 4.3 maka dapat diketahui persamaan matematis hubungan massa material sumber dan transmitansi lapisan pada daerah linier yang dapat dinyatakan dengan sebagai berikut :

$$y = -3,4x + 135,3 \quad (4.5)$$

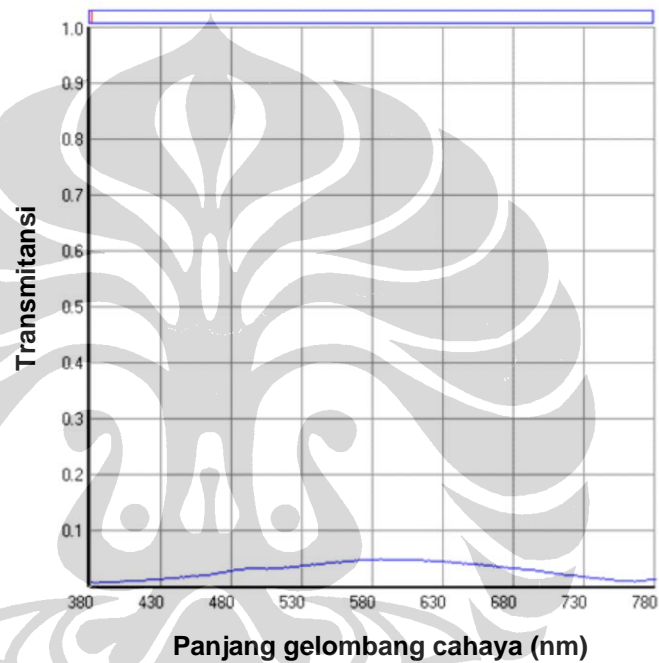
dengan y adalah transmitansi lapisan tipis Al (%) dan x adalah massa material sumber (13 – 30 mg). Sedangkan kesalahan standar pengukuran S dihitung dengan persamaan 4.4 diperoleh kesalahan pengukuran transmitansi = ± 1,0%.

Daerah linier kurva transmitansi diatas dapat digunakan untuk pembuatan komponen optik *beam splitter*. Dengan mengetahui daerah linier maka dapat dibuat *beam splitter* dengan daya transmitansi tertentu. Nilai suatu *beam splitter* biasanya dinyatakan dengan T/R (transmitansi/reflektansi). *Beam splitter* yang paling banyak digunakan adalah *beam splitter* dengan rasio transmitansi/reflektansi 50/50.

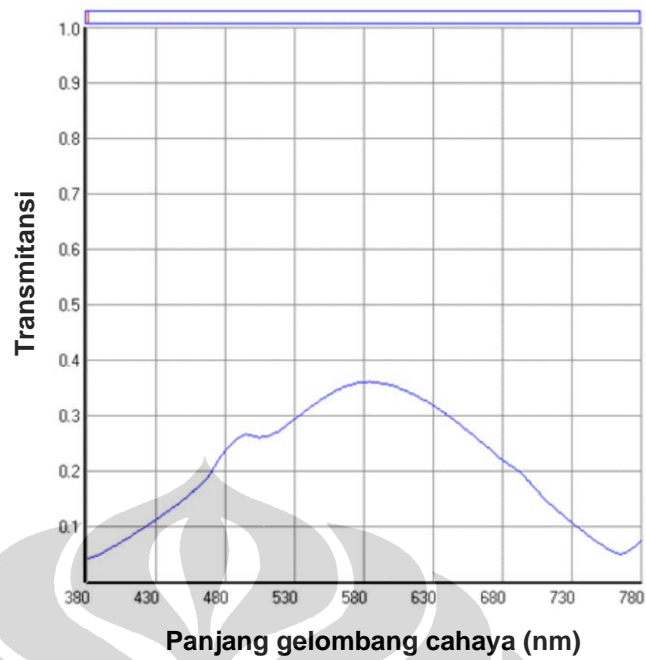
Untuk memprediksi batas bawah daerah linier maka dapat dilakukan penghitungan massa material yang diperlukan untuk memperoleh transmitansi 0% dengan menggunakan persamaan diatas. Hasil perhitungan menunjukkan untuk memperoleh transmitansi 0% maka massa material sumber yang dibutuhkan adalah 40 mg. Sementara hasil pengukuran menunjukkan massa material 190 mg menghasilkan transmitansi lapisan tipis sebesar 4,7%. Hal ini berarti dengan massa material Al sebanyak 40 mg akan diperoleh transmitansi lapisan lebih besar dari 4,7%. Hal ini menggambarkan bahwa daerah linier terjadi antara 13 – 40 mg.

4.5. Spektrum Transmittansi Lapisan Al Pada Daerah Gelombang Tampak

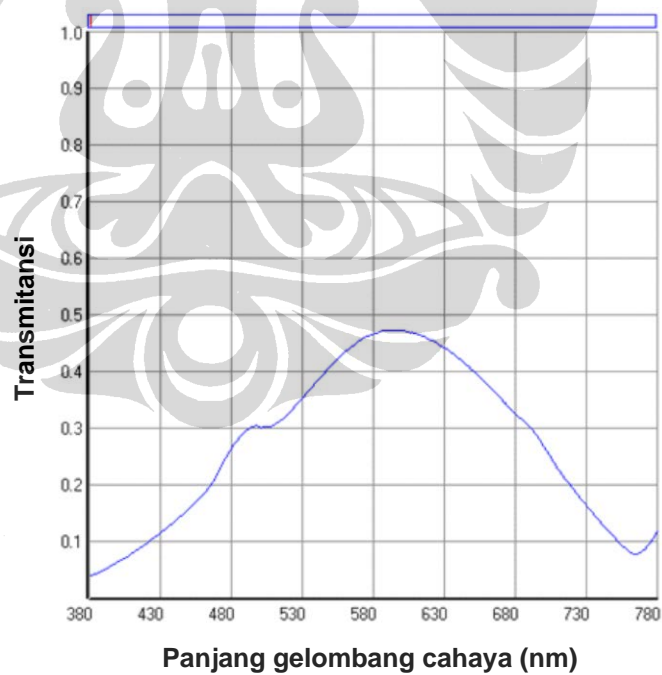
Dalam percobaan ini lapisan tipis diukur menggunakan spektrofotometer untuk mengetahui transmittansi lapisan tipis Al pada tiap panjang gelombang. Pengukuran dilakukan pada spektrum gelombang tampak (400 – 650 nm). Hasil pengukuran spektrum transmittansi lapisan tipis Al ditunjukkan pada Gambar 4.4 – 4.9. Sebagai perbandingan dilakukan pula pengukuran spektrum gelas BK7 tanpa lapisan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.10.



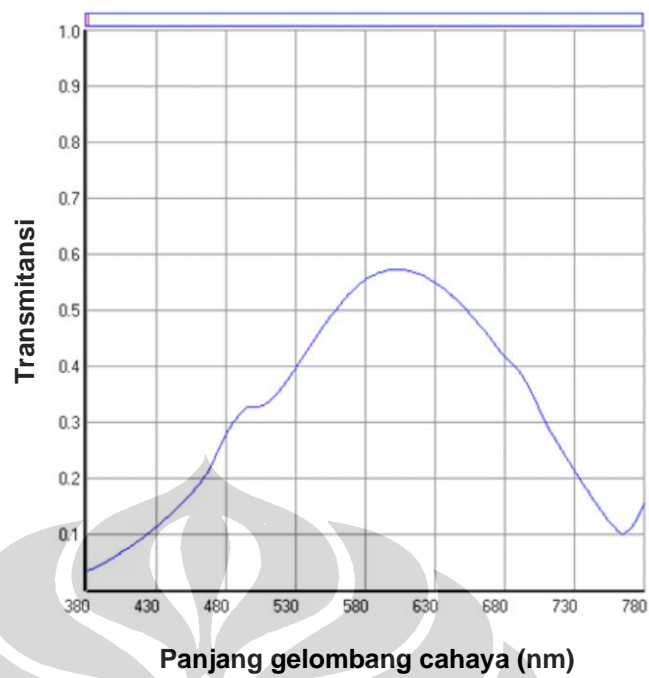
Gambar 4.3. Kurva transmittansi lapisan tipis aluminium pada substrat gelas BK7 untuk $m = 190$ mg dan $T = 4,7\%$



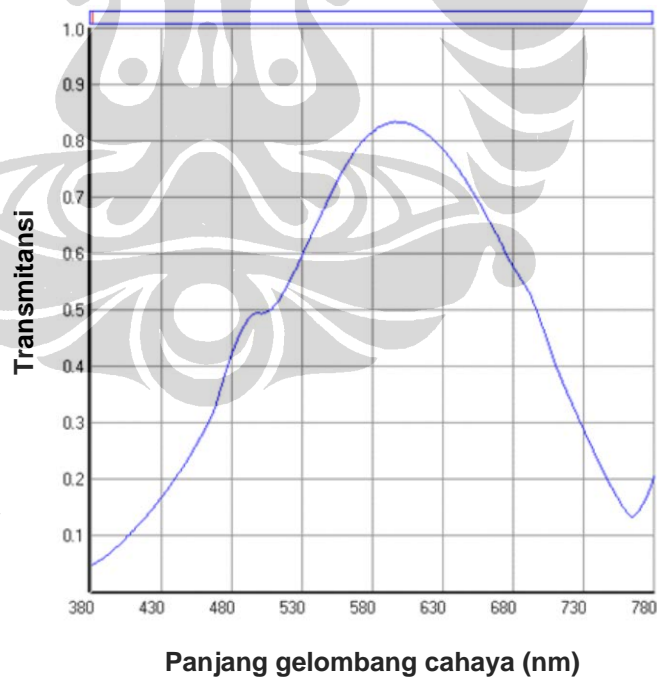
Gambar 4.4. Kurva transmitansi lapisan tipis aluminium pada substrat gelas BK7 untuk $m = 30$ mg dan $T = 36,3\%$



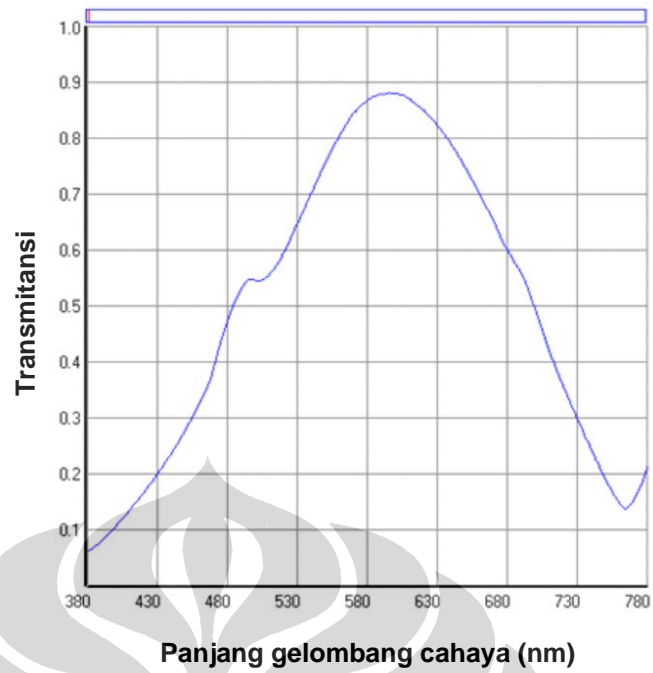
Gambar 4.5. Kurva transmitansi lapisan tipis aluminium pada substrat gelas BK7 untuk $m = 25$ mg dan $T = 50,4\%$



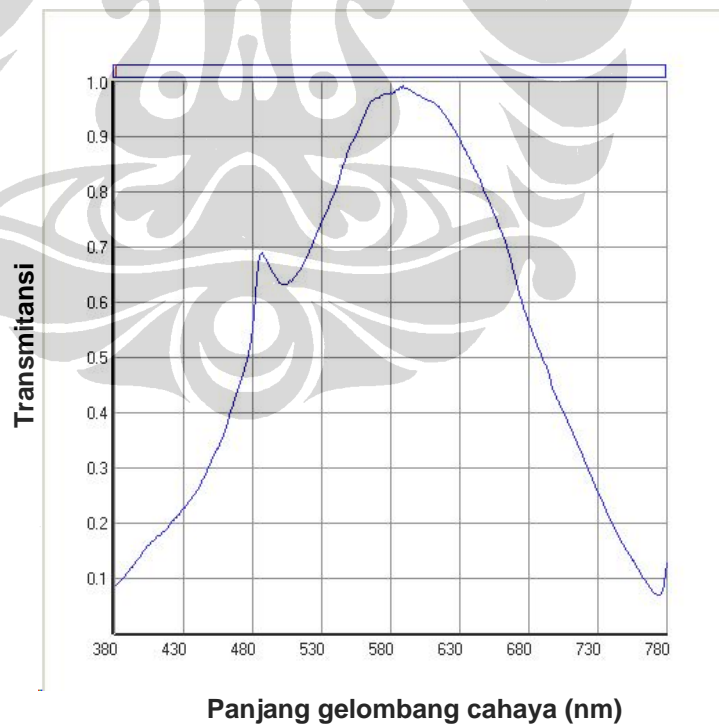
Gambar 4.6. Kurva transmitansi lapisan tipis aluminium pada substrat gelas BK7 untuk $m = 20$ mg dan $T = 61,4\%$



Gambar 4.7. Kurva transmitansi lapisan tipis aluminium pada substrat gelas BK7 untuk $m = 15$ mg dan $T = 87,7\%$



Gambar 4.8. Kurva transmitansi lapisan tipis aluminium pada substrat gelas BK7 untuk $m = 13 \text{ mg}$ dan $T = 92,4\%$



Gambar 4.9. Kurva transmitansi substrat gelas BK7

Dari Gambar 4.4 - 4.9 terlihat bahwa nilai transmitansi cahaya meningkat pada daerah panjang gelombang 600 nm sesuai dengan penurunan berat material sumber. Transmitansi yang tinggi pada panjang gelombang yang sama juga terjadi pada sampel gelas BK7 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10.

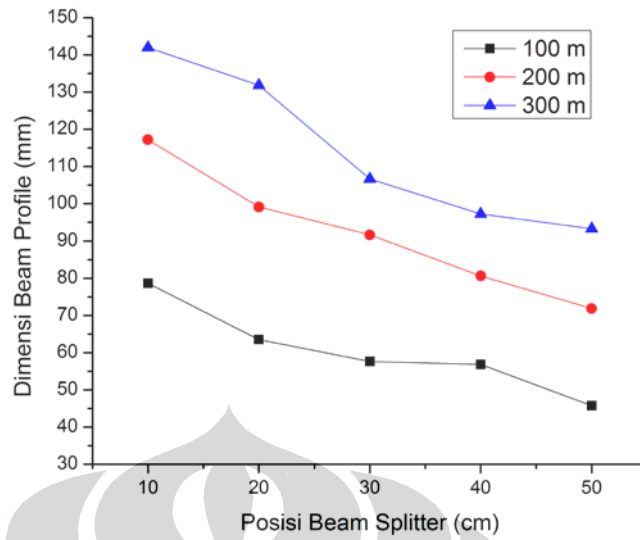
Pada panjang gelombang sekitar 380 nm nilai transmitansi lapisan tipis Al tidak mengalami perubahan. Namun pada panjang gelombang sekitar 750 nm cenderung terjadi peningkatan transmitansi seiring dengan penurunan nilai massa material sumber. Grafik diatas menunjukkan lapisan tipis Al menghasilkan transmitansi yang tinggi pada daerah panjang gelombang 550 – 600 nm (hijau dan kuning).

4.6. Pengukuran Dimensi *Beam Profile* Lapisan Tipis Al

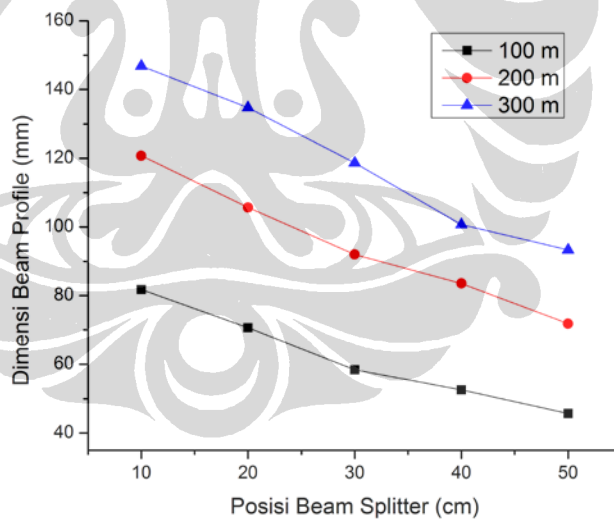
Pengukuran dimensi *beam profile* dilakukan untuk mengetahui pengaruh posisi *beam splitter* (BS) terhadap divergensi sinar yang dihasilkan setelah melewati *beam splitter* yang diukur pada jarak tertentu. *Beam splitter* yang digunakan adalah yang memiliki perbandingan transmitansi/reflektansi 50/50 dengan pertimbangan tipe ini yang paling banyak digunakan dibandingkan dengan tipe yang lain.

Sebelum dilakukan pengukuran dimensi *beam profile* sinar laser, dilakukan pengaturan posisi sudut *beam splitter* agar diperoleh posisi mendekati 45° terhadap sinar datang dengan metoda pengaturan posisi sudut seperti yang dijelaskan pada bab 3. Untuk memperoleh sudut tepat sebesar 45° sangat sulit dilakukan karena keterbatasan ketelitian alat pengukur jarak yang hanya mencapai 1 mm. Sementara untuk memperoleh sudut tepat 45° dibutuhkan alat ukur dengan ketelitian yang lebih tinggi dari 1 mm.

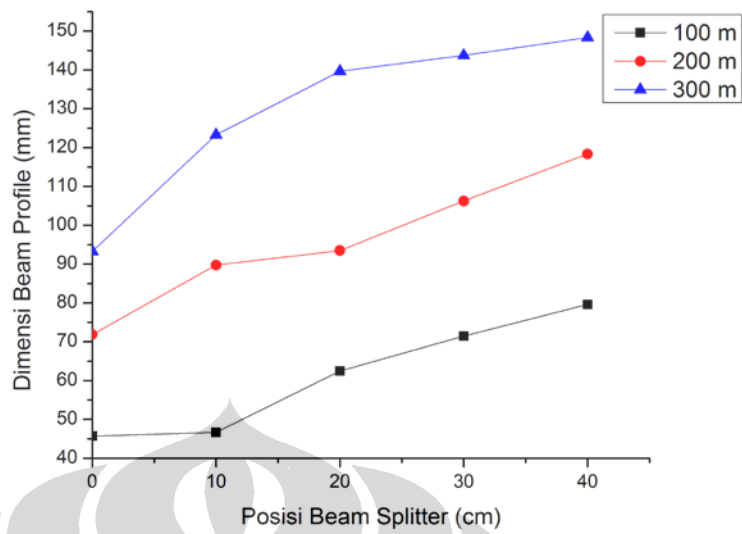
Pengukuran dimensi beam profile sinar laser dilakukan pada jarak 100, 200 dan 300 m sedangkan jarak *beam splitter* dari sumber cahaya adalah 10, 20, 30 dan 40 cm. Pengukuran dimensi *beam profile* dilakukan menggunakan jangka sorong digital yang memiliki ketelitian hingga 0,01 mm. Masing-masing pengukuran dilakukan sebanyak lima kali. Kondisi lingkungan seperti temperatur, kelembaban dan tekanan diukur menggunakan termo-hygro-baro meter. Hasil pengukuran *beam profile* sinar laser ditunjukkan pada Gambar 4.10 - 4.14.



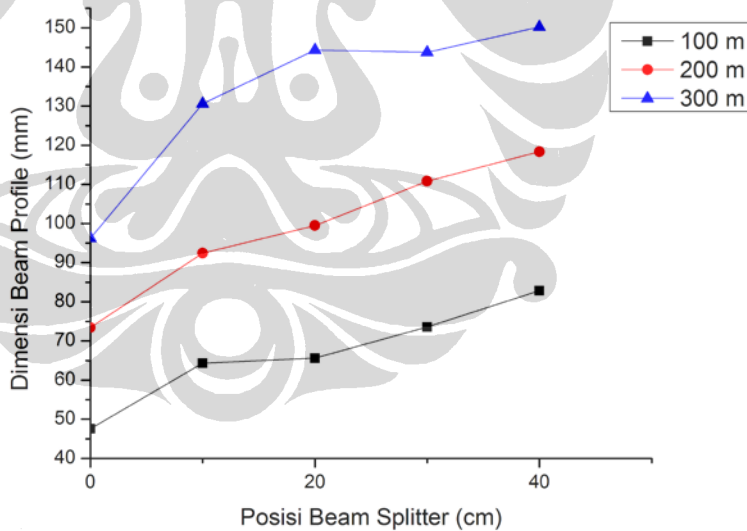
Gambar 4.10. Dimensi *beam profile* sinar transmisi pada berbagai posisi *beam splitter* dan jarak ukur ($T = 30^{\circ}\text{C}$, $H = 65\%$, $P = 991,4$ mBar dan sudut BS = $44,83^{\circ}$)



Gambar 4.11. Dimensi *beam profile* sinar transmisi pada berbagai posisi *beam splitter* dan jarak ukur ($T = 35^{\circ}\text{C}$, $H = 60\%$, $P = 991,7$ mBar, dan sudut BS = $44,83^{\circ}$)



Gambar 4.12. Dimensi *beam profile* sinar refleksi pada berbagai posisi *beam splitter* dan jarak ukur ($T = 30^{\circ}\text{C}$, $H = 65\%$, $P = 991,4 \text{ mBar}$, dan sudut BS = $44,83^{\circ}$)



Gambar 4.13. Dimensi *beam profile* sinar refleksi pada berbagai posisi *beam splitter* dan jarak ukur ($T = 35^{\circ}\text{C}$, $H = 60\%$, $P = 991,7 \text{ mBar}$ dan sudut BS = $44,83^{\circ}$)

Pada Gambar 4.11 – 4.12 terlihat bahwa dimensi *beam profile* cahaya transmisi mengalami penurunan seiring dengan peningkatan jarak *beam splitter*. Hal ini terjadi karena sinar laser mengalami penyebaran (*spreading*) setelah melewati *beam splitter*. Semakin dekat jarak *beam splitter*, maka sinar laser mengalami penyebaran lebih awal sehingga dimensi *beam profile* yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan dimensi *beam profile* yang dihasilkan oleh *beam splitter* dengan jarak yang lebih jauh untuk jarak ukur yang sama. Dari hasil pengukuran ini dapat disimpulkan bahwa lapisan logam pada *beam splitter* berfungsi sebagai penyebar cahaya transmisi. Hal ini dibuktikan dengan dimensi *beam profile* yang bertambah setelah melewati *beam splitter*.

Pada Gambar 4.13 – 4.14 terlihat dimensi *beam profile* cahaya refleksi mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya posisi *beam splitter* dari sumber laser. Fenomena ini berlawanan dengan fenomena yang terjadi pada sinar transmisi. Hal yang sama terjadi seperti pada pengukuran *beam profile* sinar laser tanpa menggunakan *beam splitter* dimana dimensi *beam profile* bertambah seiring dengan bertambahnya jarak ukur. Fenomena berlawanan ini terjadi karena sinar refleksi tidak mengalami penyebaran oleh *beam splitter* seperti yang terjadi pada sinar transmisi. Dari grafik terlihat bahwa dimensi *beam profile* terbesar diperoleh pada jarak ukur 300 m dan yang terkecil pada jarak ukur 100 m.

Dimensi *beam profile* sinar transmisi yang besar menunjukkan sinar yang masuk lebih banyak sehingga informasi yang diterima oleh mata lebih lengkap. Hal ini berdampak pada Gambar yang dihasilkan lebih jelas sehingga proses pembidikan target menjadi lebih mudah dan akurat. Dengan demikian *beam splitter* pada posisi 10 cm menghasilkan Gambar yang lebih jelas dibandingkan dengan posisi 20 cm, 30 cm dan 40 cm.

Hambatan pengukuran yang dihadapi dalam percobaan ini adalah penjarangan (*alignment*) sinar laser dan pengaturan kedataran permukaan dudukan laser dan layar. Hal ini disebabkan pengukuran dilakukan diluar ruangan yang permukaannya tidak rata. Selain itu kondisi alam seperti cuaca, angin dan debu juga mempengaruhi pengukuran.

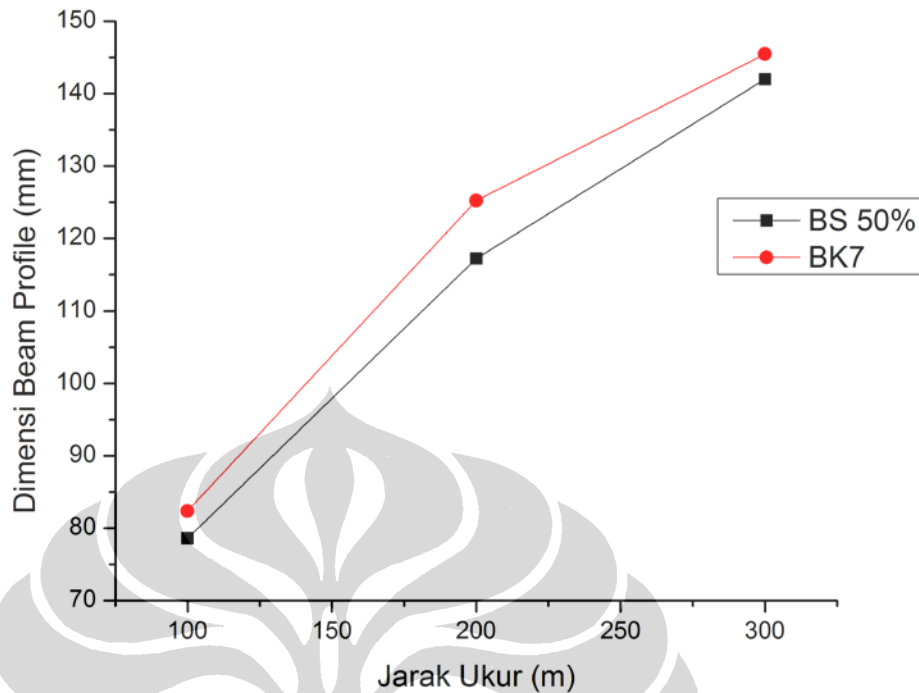
Menurut standar alat bidik senjata yang digunakan, pengukuran dimensi *beam profile* dilakukan pagi, siang dan sore hari. Namun setelah dilakukan

percobaan dilapangan ternyata pengukuran tidak bisa dilakukan pagi dan siang hari karena intensitas cahaya laser lebih kecil dibandingkan intensitas cahaya matahari sehingga jejak laser kurang jelas terlihat. Hal ini menyulitkan dalam melakukan pengukuran. Oleh sebab itu pengukuran *beam profile* dilakukan pada sore hari dalam kondisi agak gelap dimana jejak sinar laser terlihat lebih jelas.

Dalam penelitian ini tidak dilakukan pengukuran pada jarak 400 m karena *beam profile* sinar laser yang dihasilkan kurang jelas batas-batasnya dan dimensi *beam profile* sinar laser yang dihasilkan melebihi kemampuan alat ukur yang digunakan.

4.7. Pengukuran Dimensi Beam Profile Gelas BK7

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh lapisan tipis terhadap dimensi *beam profile* sinar laser. Sampel yang digunakan adalah *beam splitter* 50/50 dan substrat gelas BK7. Metoda yang digunakan sama dengan metoda pengukuran dimensi *beam profile* seperti yang dijelaskan pada Bab 3. Sampel diletakkan pada posisi 10 cm dari sumber laser. Pengukuran dimensi *beam profile* dilakukan pada jarak 100 – 300 m. Hasil pengukuran dimensi *beam profile* dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.14. Kurva dimensi *beam profile* BS 50/50 dan substrat gelas BK7 pada posisi 10 cm dan jarak ukur 100 – 300 m ($T = 30^{\circ}\text{C}$, $H = 65\%$, $P = 991,4 \text{ mBar}$, dan sudut BS = $44,83^{\circ}$)

Dari Gambar 4.15 terlihat bahwa dimensi *beam profile* yang dihasilkan oleh substrat gelas BK7 lebih besar dibandingkan dengan dimensi *beam profile* yang dihasilkan oleh *beam splitter* 50/50 untuk semua jarak ukur. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan tipis Al memiliki pengaruh terhadap dimensi *beam profile*. Perbedaan ini disebabkan sudut datang yang diterima oleh substrat yang dilapisi Al lebih kecil dibandingkan dengan sudut datang yang diterima oleh substrat tanpa lapisan. Disini lapisan tipis Al berperan dalam memperkecil sudut datang cahaya pada substrat gelas BK7. Akibatnya dimensi *beam profile* yang dihasilkan menjadi lebih kecil dibandingkan dengan substrat gelas BK7 tanpa lapisan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

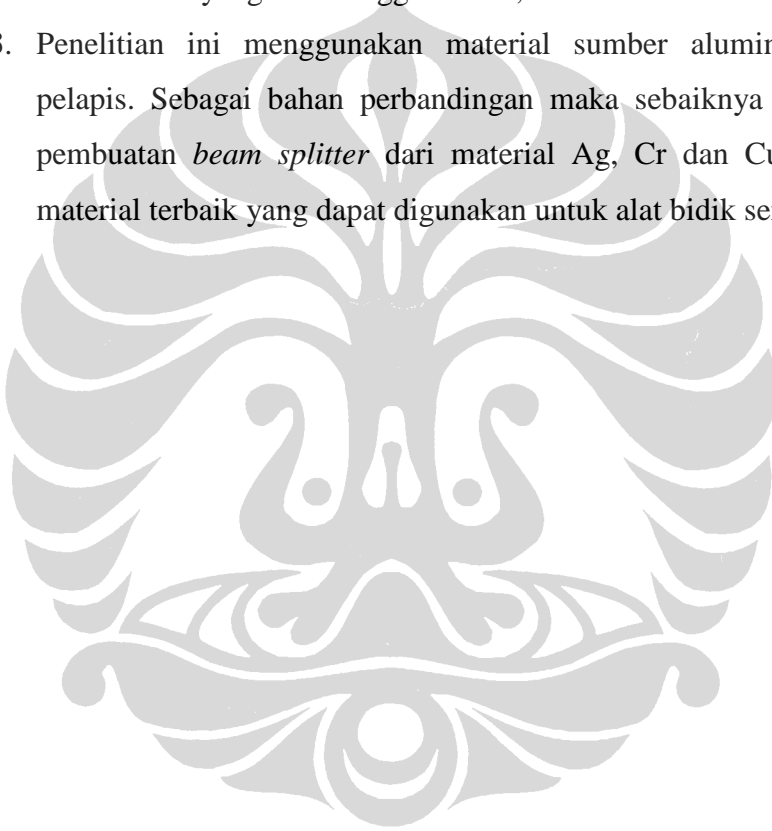
5.1. Kesimpulan

Dalam penelitian ini telah dibuat lapisan tipis aluminium (Al) menggunakan metoda evaporasi vakum dengan massa yang berbeda untuk digunakan sebagai *beam splitter* pada alat bidik senjata. Sampel yang dibuat telah memenuhi Standar Syarat-syarat Tipe (SST) Teropong Medan Perorangan yang ditetapkan oleh Dinas Penelitian dan Pengembangan Mabes TNI AD yaitu memenuhi persyaratan uji durabilitas lapisan tipis aluminium dan transmitansi minimum substrat gelas BK7. Sampel lapisan tipis memenuhi persyaratan standar tersebut setelah dilakukan penggosokan sebanyak 20 kali dengan tekanan sedang menggunakan penghapus karet standar tidak mengalami pengelupasan. Sedangkan hasil pengukuran transmitansi menunjukkan transmitansi rata-rata substrat gelas BK7 adalah sebesar 92,9% melebihi nilai transmitansi minimum yang ditetapkan oleh standar diatas yaitu sebesar 85%.

Dari hasil percobaan diketahui bahwa untuk memperoleh *beam splitter* dengan rasio transmitansi/reflektansi 50/50, maka massa material Al yang dibutuhkan adalah sebesar 25 mg. Lapisan tipis aluminium dengan massa material aluminium 13 – 30 mg menunjukkan kecenderungan penurunan transmitansi secara linier seiring peningkatan massa sumber yang dapat dinyatakan oleh persamaan 4.5 dengan kesalahan standar pengukuran sebesar $\pm 1,0\%$. Hasil pengukuran spektrum menunjukkan lapisan tipis aluminium menghasilkan transmitansi yang tinggi pada panjang gelombang 550 – 600 nm pada pengukuran transmitansi di daerah gelombang tampak (400 – 650 nm). Dari hasil pengukuran dimensi *beam profile* diketahui bahwa *beam splitter* yang diletakkan pada jarak 10 cm menghasilkan gambar yang lebih jelas dibandingkan dengan pada jarak 20 – 40 cm. Selain itu gelas BK7 memiliki dimensi *beam profile* lebih besar dibandingkan dengan *beam splitter* 50/50 yang menunjukkan adanya pengaruh lapisan tipis aluminium terhadap ukuran dimensi *beam profile*.

5.2. Saran

1. Penelitian ini menggunakan massa material aluminium (Al) sebesar 13, 15, 20, 24, 30 dan 190 mg. Untuk melengkapi penelitian ini maka perlu dilakukan penelitian transmitansi lapisan tipis Al dengan massa Al 30 – 190 mg sehingga dapat diperoleh informasi sifat optik yang lebih lengkap.
2. Dalam penelitian ini digunakan substrat gelas dengan transmitansi rata-rata sebesar 92,9%. Untuk memperoleh kualitas lapisan tipis Al yang lebih baik maka penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan substrat dengan transmitansi yang lebih tinggi dari 92,9%.
3. Penelitian ini menggunakan material sumber aluminium sebagai bahan pelapis. Sebagai bahan perbandingan maka sebaiknya dilakukan penelitian pembuatan *beam splitter* dari material Ag, Cr dan Cu untuk memperoleh material terbaik yang dapat digunakan untuk alat bidik senjata.



DAFTAR REFERENSI

- Almanza, R. (2009). Development and mean life of aluminum first-surface mirrors for solar energy applications. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. Volume 93. Issue 9. Pages 1647-1651.
- Bass, M et. al. (2010). *Handbook of Optics*. 3rd Ed. Vol 2. New York : McGraw-Hill Companies, Inc.
- Beke, S et al. (2008). Structural and optical properties of pulsed laser deposited V₂O₅ thin films. *Thin Solid Films*, Volume 516, Issue 15. Pages 4659-4664.
- Bendavid, A. et al. (1999). Structural and optical properties of titanium oxide thin films deposited by filtered arc deposition. *Thin Solid Films*. Volumes 355–356. Pages 6-11.
- Bethea, R.M., Barriger, M.T., Williams, P.F., Chin, S. (1981). Environmental effects on solar concentrator mirrors. *Solar Energy*, Volume 27, Issue 6. Pages 497-511.
- Boccas, M. Vucina, T. Araya, C. Vera, E. Ahhee, C. (2006). Protected-silver coatings for the 8-m Gemini telescope mirrors. *Thin Solid Films*. Volume 502. Issues 1–2. Pages 275-280.
- Bunshah, R.F. (2001). *Handbook of Hard Coatings : Deposition Technologies, Properties and Application*. New York: Noyes Publication/William Andrew Publishing LLC.
- Catagner, B. (1984). Weapon System, *et al.*, *Weapon System*, United States Patent 4,432,269.

- Cheng, F.Q., Hu, J.P. (1998). Analysis of Al/glass and Ag/glass mirror films. *Solar Energy Materials*. Volume 18, Issues 1–2. Pages 83-86.
- Cuomo, J.J et. al. (1989). *Handbook of Ion Beam Processing Technology: Principles, Deposition, Film Modification and Synthesis*. New Jersey : William Andrew Inc.
- Defence Supply Agency. (2001). *Optical Design Military Handbook, MIL-HdBK-14-1.*, Washington, D.C.
- Dharmadhikari, J.A. et al. (2011). Writing low-loss waveguides in borosilicate (BK7) glass with a low-repetition- rate femtosecond laser. *Optics Communications*, Volume 284, Issue 2. Pages 630-634.
- Dinas Penelitian dan Pengembangan TNI AD. (1980). Syarat - syarat Tipe (SST) Teropong Medan Perorangan No : NS – 65 – 12 – 03 -05. Jakarta : Markas Besar TNI AD.
- Doebelin, E.O. (1990). *Measurement Systems: Application and Design*. 4th Ed. New York : McGraw-Hill International Book Company.
- Ekstand, J.A.I. (1976). *Optical Sighting Instrument With Means for Producing A Sighting Mark*, United States Patent. : 3.942,901.
- Ewing, G.W. (1985). *Instrumental Methods of Chemical Analysis*. 5th Ed. Singapore : McGraw-Hill Book Company.
- Fend, T et al. (2003). Comparative assessment of solar concentrator materials. *Solar Energy*. Volume 74. Issue 2. Pages 149-155.

Fend, T. Jorgensen, G. Küster, H. (2000). Applicability of highly reflective aluminium coil for solar concentrators. *Solar Energy*. Volume 68, Issue 4. Pages 361-370.

Fernández-Perea, M. (2006). Far ultraviolet reflectance variation of MgF₂-protected aluminum films under controlled exposure to the main components of the atmosphere, *Thin Solid Films*, Volume 497, Issues 1–2, 21. Pages 249-253.

Fukuda, S. et al (2003). Degradation of Ag and Ag-alloy mirrors sputtered on poly(ethylene terephthalate) substrates under visible light irradiation. *Thin Solid Films*, Volume 442, Issues 1–2, Pages 117-120.

Gatto, A. (1998). Ludovic Escoubas, Pierre Roche, Mireille Commandré. Simulation of the degradation of optical glass substrates caused by UV irradiation while coating. *Optics Communications*, Volume 148, Issues 4–6. Pages 347-354.

Grauslys, R.P. et al. (2008). *Weapon Aiming Device*, United States Patent. : 7,325,354 B2.

Gümüş, C., Ulutaş, C., Ufuktepe, Y. (2007). Optical and structural properties of manganese sulfide thin films. *Optical Materials*, Volume 29, Issue 9, Pages 1183-1187.

Harsha, K.S.S. (2007). *Principles of Physical Vapor Deposition of Thin Films*. 1st Ed. New York : Elsevier Ltd.

Haus, J. (2010). *Optical Sensor : Basic and Application*. Weinheim : Wiley VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Hariharan, P. (2003). *Optical Interferometry*. 2nd Ed. San Diego : Academic Press.

Hatman, R.B. et al. (1972). *Range Finder to Continuously Determine Range Utilizing a Reticule Having Indicia*, United States Patent 3,682,552.

Hobbs, P.C.D. (2009). *Building Electro-Optical System : Making It All Work*. 2nd Ed. New Jersey : John Wiley & Sons Inc. Publication.

Holland, L. (1970). *Vacuum Deposition of Thin Films*, London : Chapman and Hall Ltd.

Huntz, A.M., et al. (2008). Study by temperature induced deflection of ageing and damaging of multilayered mirrors for satellites. *Applied Surface Science*. Volume 254. Issue 21. Pages 6783-6792.

Idan, I. (1999). *Optical Sighting Device*, United States Patent 4,665,662.

Instruction Manual. 2004. *Installation and Maintenance Manual : Auto 306 Vacuum Coater with Turbomolecular Pumping System*. BOC Edwards.

Jankowski, A., Hayes, J. (2004). The evaporative deposition of aluminum coatings and shapes with grain size control. *Thin Solid Films*. Volumes 447–448. Pages 568-574.

Jorlov, R. (1993). *Parallax Free Optical Sighting Device*, United States Patent No. : US. 5,189,555.

Juliastuti, E. Kurniadi, D. Gunawan. (2003). Pembuatan Prototipe Alat Ukur Kekeruhan Larutan Berdasarkan Penyerapan Cahaya Secara On-Line. *Jurnal Instrumentasi*. Vol 27 No 2. ISSN 0125 – 9202. Hal 38 – 44.

- Kato, K. et. al. (2011). Visible and near infrared light absorbance of Ag thin films deposited on ZnO under layers by magnetron sputtering. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. Volume 95. Issue 8. Pages 2352-2356.
- Lansåker, P.C. et al. (2011). Au thin films deposited on SnO₂:In and glass: Substrate effects on the optical and electrical properties. *Thin Solid Films*. Volume 519, Issue 6. Pages 1930–1933.
- Lee, C.C., Lee, T.Y., Jen, Y.J. (2000). Ion-assisted deposition of silver thin films. *Thin Solid Films*, Volume 359, Issue 1, Pages 95-97.
- Li, C. et al. (2009). Effects of substrate on the structural, electrical and optical properties of Al-doped ZnO films prepared by radio frequency magnetron sputtering. *Thin Solid Films*. Volume 517. Issue 11. Pages 3265-3268.
- Lipa, M. et al. (2006). Analyses of metallic first mirror samples after long term plasma exposure in Tore Supra. *Fusion Engineering and Design*. Volume 81. Issues 1–7. Pages 221-225.
- Liu, G., Jin, Y., He, H., Fan, Z. (2010). Effect of substrate temperatures on the optical properties of evaporated Sc₂O₃ thin films. *Thin Solid Films*, Volume 518, Issue 10, Pages 2920-2923.
- Looger, L.L. et al. (1976). *Anti-Tank Rocket Launcher*, United States Patent 3,990,355.
- Macleod, H.A. (2010). *Thin Film Optical Filters*. 4th Ed. Boca Raton : CRC Press.
- Martin, P.J., Bendavid, A. (2003). Properties of Ti_{1-x}Si_xNy films deposited by concurrent cathodic arc evaporation and magnetron sputtering. *Surface and Coatings Technology*, Volumes 163–164 Pages 245-250.

- Martin, P.M. (2005). *Handbook of Deposition Technology for Films and Coatings : Science, Application and Technology*. Oxford UK : Elsevier Inc.
- Mattox, D.M. (1998). *Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing: Film Formation, Adhesion, Surface, Preparation, and Contamination Control*. New Jersey : Noyes Publication.
- Military Standard. (1960). *Optical term and definitions*. MIL-STD-1241. Washington, D.C.: US. Government Printing Off.
- Ovchinnikov, Y.B. (2003). A planar waveguide beam splitter. *Optics Communications*, Volume 220, Issues 4–6, Pages 229-235.
- Ohring, M. (1992). *The Material Science of Thin Films*. London : Academic Press.
- Perez, A. et al. (2012). Comparison of the intrinsic properties of EBPVD Al–Ti and Al–Mg coatings. *Materials Chemistry and Physics*. Volume 132. Issue 1. Pages 154-161.
- Pettit, R.B., Freese, J.M. (1980). Wavelength dependent scattering caused by dust accumulation on solar mirrors. *Solar Energy Materials*. Volume 3. Issues 1–2. Pages 1-20.
- Razdobarin, A.G. et al. (2011). Diagnostic mirrors with transparent protection layer for ITER. *Fusion Engineering and Design*. Volume 86. Issues 6–8. Pages 1341-1344.
- Rentzsch, M et al. (1982). *Anti Tank Weapon*, United States Patent 4,318,329.
- Roche, P.F. (2001). Gemini and the existing telescopes Review Article. *New Astronomy Reviews*. Volume 45. Issues 1–2. Pages 3-7.

- Rodríguez, S.M. et al. (2004). Engineering of solar photocatalytic collectors. *Solar Energy*, Volume 77, Issue 5, Pages 513-524.
- Saito, T. et al. (2009). Phase separated Al Si thin films prepared by filtered cathodic arc deposition. *Thin Solid Films*, Volume 517, Issue 5. Pages 1567-1571.
- Semaltianos, N.G. (2001). Thermally evaporated aluminium thin films. *Applied Surface Science*, Volume 183, Issues 3–4. Pages 223-229.
- Seshan, K. (2002). *Handbook of Thin Film Deposition : Processes and Technology*. 2nd Ed. New York : Noyes Publication – William Andrew Publishing.
- Shi, J.H., Wang, Z.P., Guan, C.Y. (2009). Theoretical analysis of non-polarizing beam splitters with appropriate amplitude and phase. *Optics & Laser Technology*, Volume 41, Issue 3. Pages 351-355.
- Shi, J.H., Wang, Z.P., Guan, C.Y., Yang, J., Fu, T.S. (2011). Multi-wavelength metal-dielectric nonpolarizing beam splitters in the near-infrared range. *Optics & Laser Technology*, Volume 43, Issue 3. Pages 515-518.
- Smith, J.P. et al. (1972). *Range and Elevation Determine Device*, United States Patent. : 3.688,408.
- Smith, T.D. (2003). *Reticle for Telescopic Gunsight and Method for Using*, United States Patent No. : US. 6,591, 537 B2.
- Sun, X. et al. (2007). Thickness dependence of structure and optical properties of silver films deposited by magnetron sputtering. *Thin Solid Films*. Volume 515. Issue 17. Pages 6962-6966.

- Suzuki, A., Bourelle, E., Sato, A., Seki, T., Matsuo, J. (2007). Effect of oblique irradiation of gas cluster ion beam on surface properties of gold mirrors. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. Volume 257. Issues 1–2. Pages 649-652.
- Takenaka, H., Ichimaru, S., Gullikson, E.M. (2005). EUV beam splitter for use in the wavelength region around 6 nm. *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, Volumes 144–147, Pages 1043-1045.
- Valkonen, E., Karlsson, B., Ribbing, C.G. (1984). Solar optical properties of thin films of Cu, Ag, Au, Cr, Fe, Co, Ni and Al. *Solar Energy*, Volume 32, Issue 2, 1984, Pages 211-222.
- Venables, J.A. (2003). *Introduction to Surface and Thin film Processes*. New York : Cambridge University Press.
- Venkatesh, V.C. Fang, F. Chee, W.K. (1997). On-Mirror Surfaces Obtained with and without Polishing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Volume 46, Issue 1, Pages 505-508.
- Wang, Z.P., Shi, J.H., Ruan, S.L. (2007). Designs of infrared non-polarizing beam splitters. *Optics & Laser Technology*. Volume 39. Issue 2. Pages 394-399.
- Wiley, R.R. (2006). *Field Guide to Optical Thin Films*. Washington : SPIE Press. Bellingham.
- You, Z.Z., Hua, G.J. (2009). Refractive index, optical bandgap and oscillator parameters of organic films deposited by vacuum evaporation technique. *Vacuum*, Volume 83, Issue 6, Pages 984-988.

Yoshida, H. et al. (2003). Fused-quartz glass with low optical quality as a high damage-resistant stimulated Brillouin-scattering phase-conjugation mirror. *Optics Communications*. Volume 222. Issues 1–6. Pages 257-267.

Zhao, H., Yuan, D., Ming, H. (2011). Design of a 50/50 splitting ratio non-polarizing beam splitter based on the modal method with fused-silica transmission gratings. *Optics & Laser Technology*. Volume 43. Issue 3. Pages 599-603.



LAMPIRAN

SPESISIFIKASI MESIN COATING EDWARD 306

Operating and Storage Condition

Ambient operating temperature range	5 to 40 °C
Ambient storage temperature range	0 to 40 °C
Maximum ambient humidity: operation	80% RH up to 31 °C, 50% RH up to 40 °C
Maximum ambient humidity: storage	90% RH
Maximum operating altitude	2000 m
Installation category	II
Pollution degree	2

Performance

Ultimate pressure	Refer to the System Manual (see Note above)
Time to pump down to ultimate pressure	Refer to the System Manual (see Note above)
Leak rate	$< 1 \times 10^{-5}$ mbar l s ⁻¹ , 1×10^{-3} Pa l s ⁻¹
Liquid nitrogen trap operating time *	6 to 8 hours

Mechanical Data

Dimensions	See Figure 4
Mass	Refer to your AUTO 306 System Manual
Push/pull force	
Momentary	6 kgf
Sustained	3 kgf
Degree of protection	IP 20

Electrical Data

Electrical supply	Refer to your System Manual
AIC (ampere interrupt capacity)	10 kA
Fuse rating	Refer to your System Manual
Circuit breaker ratings	
CB1 (main circuit breaker)	Double pole: refer to your System Manual for rating
CB2 (24 V power supply unit protection)	1 A (double pole)
CB3 (backing pump supply)	5 A (single pole)
CB4 (secondary pump supply)	12 A (single pole)
CB5 (valves supply circuit)	5 A (single pole)
CB6 (components/instrument supplies)	5 A (single pole)
CB7 (HT/LT supply circuits 1 and 2)	10 A (single pole)
CB8 (quartz heater supply circuit)	5 A (single pole)

Gas Supplies

Maximum vent gas supply pressure	1 bar gauge, 2.1×10^5 Pa, 29 psi
Maximum needle valve gas supply pressure	1 bar gauge, 2.1×10^5 Pa, 29 psi

Cooling Water Supply

Supply pressure range	2.7 to 7 bar, 6.9×10^5 to 7×10^5 Pa, 40 to 100 psi
Supply temperature range	5 to 20 °C
Ryznar Stability Index (RSI)	6.5 to 7.0 (see Note above)
Typical flow rate	1.25 l min ⁻¹ (see Note above)

Rotary Pump Oil

Recommended oil	Ultragrade 19
Pump oil capacity	650 to 1000 ml

Services Connections

Electrical supply cable	3-core (4 mm ²), 2 m long, unterminated
Cooling-water supply and return connections	Suitable for 8 mm outside diameter tube, or 6 mm inside diameter tube (with 8 mm nozzle connector)
Vent and needle valve gas supply connections	Suitable for 6 mm outside diameter tube, or 4 mm inside diameter tube (with 6 mm nozzle connector)
Pumping system outlet connection	Suitable for 16 mm inside diameter tube (with nozzle connector)

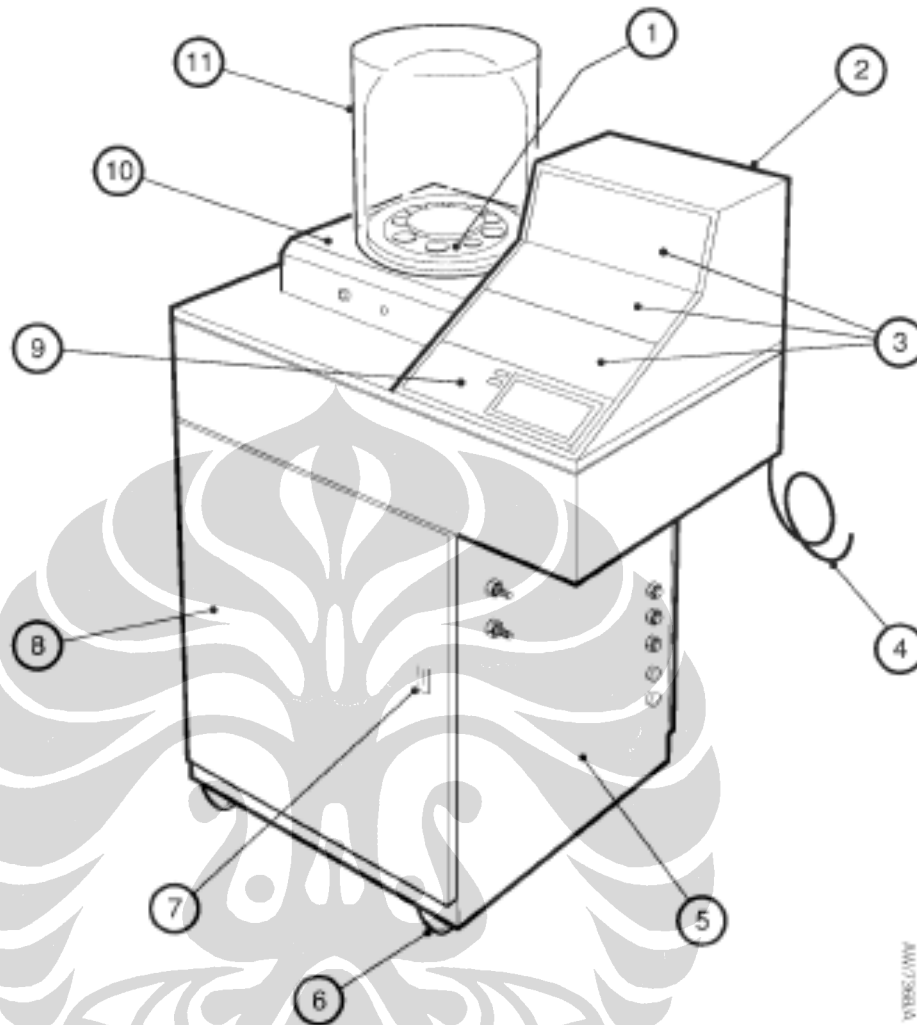
Material Exposed to vacuum

The following materials in the standard AUTO 306 are exposed to vacuum:

- aluminium (HE30)
- stainless steel (S/S 304)
- copper (high conductivity, oxygen-free)
- nickel
- fluoroelastomer
- polyethylene
- rotary pump oil (AUTO 306 with RV12 backing pump only).

Additional materials in any process specific accessories fitted to your AUTO 306 may also be exposed to vacuum: refer to your System Manual.

SKEMA SYSTEM EVAPORASI MESIN COATING OPTIK



- | | |
|-------------------------------|------------------------------------|
| 1. Baseplate | 6. Castors |
| 2. Control panel | 7. Front door lock |
| 3. Accessory control panels * | 8. Front door |
| 4. Electrical supply cable | 9. System control panel |
| 5. Services panel | 10. Front baseplate cover |
| | 11. Bell jar and implosion guard † |

* If fitted

† Optional accessories

Note: This Figure shows an AUTO 306 with a bell jar and implosion guard fitted to the baseplate. No accessory control panels are shown. Refer to your System Manual for the type of vacuum chamber fitted, and any accessory control panels fitted to your specific AUTO 306 system.

AN7275/A

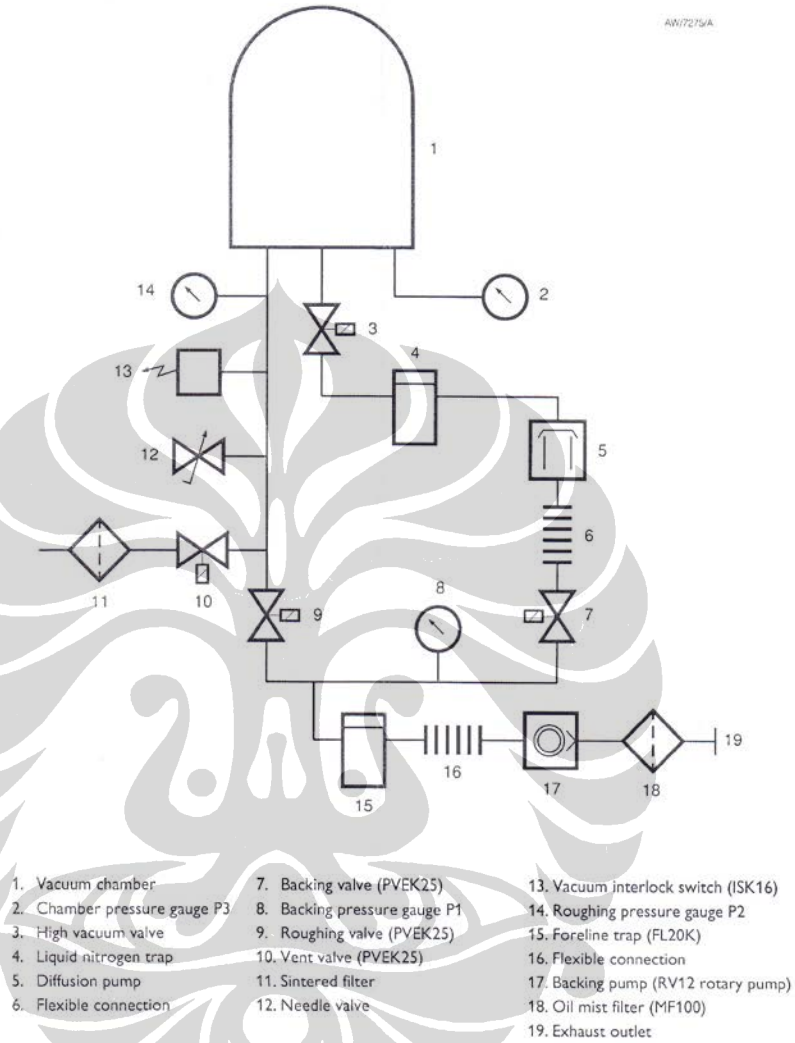


Figure 2 - Typical pumping system schematic

GREEN LASER POINTER 1000mW



Spesifikasi laser :

- * Panjang Alat 16 cm
- * Berat alat + batere 90 gram
- * Berat alat + box + batere 130 gram
- * Max output Power (tertera) 1000 mW
- * Wavelength (tertera) 532 nm
- * Jangkauan sinar laser tembus + 1 km (tested malam hari)
- * Power : 2400 mAh 3,7 V Battery

ELEKTRONIC DIGITAL CALIPER



Keterangan:

- Elektronik Digital Caliper
- Terbuat dari stainless steel dikeraskan
- Dimensi internal, eksternal dan tinggi dapat dengan mudah dan akurat diukur
- Linear kapasitif mengukur system
- Nol pengaturan dalam posisi apapun
- Dengan sebuah sekrup pengunci jempol kecil yang mengunci rahang di tempat
- Basis fungsi pengukuran: Di dalam, luar, kedalaman dan langkah mengukur
- Dengan mudah untuk membaca layar LCD besar
- Konversi berguna grafik di belakang
- Sebuah alat yang ideal untuk berbagai aplikasi industri dan otomotif

Fitur :

- Rentang pengukuran: 0-150 mm / 0-6 inci.
- Resolusi: 0.01mm / 0,0005 masuk
- Pengulangan: 0.01mm / 0,0005 masuk
- Akurasi: + 0,02 mm / 0,001 inci (<100 mm), + 0,03 mm / 0,001 masuk (> 100 - 150 mm)
- Pengukuran kecepatan maksimum: 1m / s
- Daya: 2 x 1.5V SR44 (perak sel oksida) baterai (tidak termasuk)
- Baterai: 1 tahun untuk penggunaan terus menerus / 3 tahun di bawah operasi normal
- Ukuran: 240 x 80 x 12mm