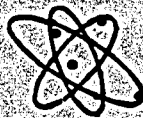


PPGM-L 166-78

**KEMUNGKINAN PENGGUNAAN PLASTIK
PVC SEBAGAI DOSIMETER SINAR**

Amri Ayat
Sutrisno Puspodikoro



**BADAN TENAGA ATOM NASIONAL
PUSAT PENELITIAN TENAGA ATOM GAMA
YOGYAKARTA — INDONESIA**

We regret that some of the pages in the microfiche copy of this report may not be up to the proper legibility standards, even though the best possible copy was used for preparing the master fiche.

Teknik dan Teknologi
Instrumentasi
Deteksi Zarah dan Radiasi dan
Alat-alat dan Cara Pengukuran

PPGM - L 166 - 78

KEMUNGKINAN PENGGUNAAN PLASTIK
PVC SEBAGAI DOSIMETER SINAR γ

Amri Ayat
Sutrisno Puspoikoro

1978

BADAN TENAGA ATOM NASIONAL
Pusat Penelitian Tenaga Atom Gama
Jl. Babarsari Kotakpos 8 Telpom 3661
YOGYAKARTA - INDONESIA

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
I . PENDAHULUAN	1
II . LATAR LAMBAH	2
III. PROSEDUR EXPERIMEN	4
IV . KESIMPULAN	13
GAMBAR-GAMBAR GRAFIK	
DAFTAR PUSTAKA	28

A B S T R A K

Penggunaan plastik sebagai dosimeter untuk pengukuran sinar γ - sangat menarik untuk dipelajari. Dalam karya yang disajikan di sini plastik PVC dari pasaran dengan merk dagang "Takiron" digunakan untuk dosimetri radiasi Co-60. Untuk eksperimen jangkau dosis yang dapat digunakan membentang antara 0,15 - 1,2 Mrad. Pudar-warna dalam selang waktu sesudah paparan radiasi dapat dimantapkan dengan cara pemanasan (60° C selama 30 menit).

A B S T R A C T

The use of plastics as a radiation dosimeter for measurement of γ - rays is very attractive to be studied. In the work presented here commercial PVC film with the trade-mark "Takiron" is used for Co-60 radiation dosimetry. According to the experiments the useful dose range extends over 0,15 - 1,2 Mrads. Fading of the coloration with time after radiation exposure can be stabilised by heat treatment (60° C for 30 minutes).

DOSIMETER PLASTIK UNTUK PENGUKURAN

DOSIS SINAR γ

I. PENDAHULUAN

Pengaruh interaksi antara partikel-partikel radiasi pengion terhadap materi yang dikenai radiasi dapat menyebabkan timbulnya berbagai macam efek yang bergantung kepada beberapa faktor antara lain jenis partikel yang diemisikan, ujud materi yang dikenai radiasi dan nomor massa dari materi ini.

Efek yang ditimbulkan akibat radiasi tersebut mempunyai ciri-ciri tersendiri, hingga hal ini dapat dijadikan konsep dasar pemikiran untuk menemukan suatu metode pengukuran dosis radiasi pengion tersebut.

Telah dikenal berbagai sistem dosimeter untuk mengukur kecepatan dosis terabsorpsi dari radiasi pengion. Sistem gas, larutan dan zat padat dapat digunakan sebagai dosimeter asal memenuhi persyaratan tertentu. Akan tetapi kenyataan bahwa untuk menyiapkan dosimeter cair dan gas yang harus dikerjakan dalam laboratorium membutuhkan banyak waktu dan ketelitian kerja, perlu diusahakan cara lain yang lebih praktis dan murah untuk maksud di atas.

Untuk itulah dipelajari kemungkinan penggunaan lembaran PVC (polivenilklorida) dengan nama dagang "Takiron" sebagai dosimeter untuk pengukuran dosis radiasi sinar γ .

II. LATAR LAMBAH

Pada penelitian ini digunakan dosimeter kimia Fricke sebagai dosimeter standar untuk kalibrasi pengukuran kecepata dosis sinar γ GAMMACELL 220 dalam rangka penelitian mempelajari efek sinar γ terhadap lembaran plastik PVC dan kemungkinan pemakaiannya sebagai dosimeter.

Secara umum dapat dikatakan bahwa akibat penyinaran radiasi pengion terhadap materi akan menimbulkan suatu perubahan yang tingkatnya bergantung kepada dosis penerimaan atau serapan oleh materi tersebut.

Efek yang ditimbulkan akibat pengaruh radiasi terhadap plastik adalah berbagai perubahan sifat-sifat fisis, kimiawi dan mekanis, di antaranya perubahan warna. Perubahan fisis dapat berupa perubahan kekentalan, daya larut, daya hantar listrik, spektrum radikal bebas, bentuk dan susunan kristal. Perubahan kimiawi misalnya pembentukan ikatan rangkap, dehidroklorinasi, pembentukan ikatan silang-lintang (= *cross linking*), degradasi oksidatif, polimerisasi, depolimerisasi, pembentukan gas-gas dan sebagainya. Perubahan sifat mekanis dapat berupa perubahan tegangan tarik, modulus elastis, kerasnya (= *hardness*), memanjangnya (= *elongation*), fleksibilitas dan sebagainya. Semua perubahan sifat-sifat di atas dapat memberi kemungkinan digunakannya materi tersebut sebagai dosimeter untuk radiasi pengion.

Pada penelitian ini dikembangkan cara pengukuran dosis berdasarkan perubahan warna yang ditimbulkan pada plastik. Perubahan warna ini bergantung kepada jenis plastik dan besar dosis yang diterima plastik itu. Plastik PVC apabila disinari dengan sinar γ akan berwarna hijau, kuning atau coklat bergantung kepada kemurniannya. Kenaikan intensitas warna sesuai dengan kenaikan dosis radiasi yang dikenakan PVC tersebut. Perubahan warna yang timbul belum dapat diterangkan secara pasti. Dugaan bahwa perubahan ini disebabkan oleh adanya elektron atau radikal bebas terjebak (= *trapped*), seperti halnya yang terjadi dalam sistem kristal, tidak dapat diterima oleh beberapa ahli karena perubahan warna ini bersifat tidak dapat balik (= *irreversible*).

III. PROSEDUR EKSPERIMEN

Plastik yang digunakan pada eksperimen ini adalah yang banyak dijual di pasaran dengan nama dagang "Tektiron", tidak berwarna, transparan, tetapi sifat-sifat fisis dan mekanismenya lebih lanjut tidak diketahui dan tidak ditentukan dalam eksperimen ini. Untuk mempelajari kemungkinan plastik tersebut dipakai sebagai dosimeter untuk sinar γ telah dilakukan berbagai perlakuan dan pengamatan terhadap plastik itu.

Untuk keperluan perlakuan diambil bagian-bagian yang sebarang saja dari lembaran plastik, dipotong-potong sesuai dengan ukuran pegangan cuplikan (= *sample holder*) spektrofotometer Beckman 25, kemudian diamati rapat optiknya. Ternyata tidak berbeda satu dengan yang lain.

Langkah selanjutnya adalah meradiasi plastik pada posisi yang tertentu dalam ruang iradiasi GAMMACELL 220 selama waktu tertentu untuk kemudian langsung diukur rapat optiknya.

Perlakuan berikutnya adalah memanasi cuplikan-cuplikan itu setelah diradiasi, tetapi sebelum diamati rapat optiknya. Pemanasan cuplikan itu dimaksud untuk menemukan konsisi yang paling baik untuk mengamati efek pudar-warna (*fading effect*) plastik yang telah diradiasi dengan cara mengamati perubahan rapat optiknya terhadap selang waktu penyimpanan untuk perlakuan panas yang berbeda bagi potongan plas-

tiap masing-masing. Pada penelitian telah dilakukan beberapa pengamatan perubahan warna plastik yang telah diradiasi disebabkan oleh perlakuan panas, sebagai fungsi dari dua macam parameter, yaitu variasi selang waktu pemanasan dan variasi temperatur pemanasan. Juga diamati pengaruh waktu penyimpanan terhadap rapat optik, baik untuk cuplikan yang belum dipanasi maupun yang sudah dipanasi, setelah cuplikan diradiasi dengan sinar γ .

Tidak dilakukan percobaan tentang pengaruh tebal plastik, pengaruh kandungan oksigen dalam atmosfer dan pengaruh suhu pada radiasi.

Perincian Pelaksanaan Eksperimen :

1. Bahan-bahan :

- lembaran plastik merk dagang "Takiron"
- Kalium bikromat, asam sulfat, bensen, metil alkohol, khloroform, aseton, karbon disulfida, siklo heksana metil-etil-keton, butil asetat, dioksana.

2. Peralatan :

- iradiator sinar γ GAMMACELL 220
- spektrofotometer Beckman 25
- pemanas dengan sistem kontak termometer.

3. Identifikasi jenis plastik.

Untuk identifikasi jenis plastik dilakukan analisa yang didasarkan atas sifat larut plastik dalam berbagai macam pelarut organik. Untuk tujuan tersebut plastik dipotong kecil-kecil ukuran $1 \times 0,1$ cm kemudian dilarutkan dalam pelarut-pelarut organik sebagai berikut :

- Untuk plastik PVC dipakai pelarut : sikloheksan, aseton dicampur CS_2 , metil-etil-eton, dioksan.
- Untuk plastik PMMA (polimetil metakrilat) dipakai pelarut : bensen, khloroform, butil-asetat, aseton.

Identifikasi terhadap plastik PMMA dilakukan karena pada percobaan pendahuluan, untuk mengetahui jenis plastik Takiron dengan memakai spektrofotometer infra merah, diperoleh dugaan sementara bahwa plastik ini mungkin polimer dari metil metakrilat. Dugaan ini menjadi kabur karena spektra serapan yang dihasilkan dengan infra merah di atas tidak begitu jelas dan jauh berbeda dengan penafsiran pada atlas. Di samping itu pada percobaan memakai serapan spektra pada daerah ultra lembayung (UV) diperoleh serapan spektra pada daerah 395 nm, yang bukan merupakan serapan spektra karakteristik dari senyawa polimetil metakrilat. Menurut Colin [13] serapan spektra dari plastik PMMA ada di daerah panjang gelombang 260 dan 345 nm. Maka cara identifikasi dengan menggunakan pelarut-pelarut di atas dapat menolong untuk memastikan jenis plastik dengan nama dagang "Takiron" itu, meskipun derajat kemurniannya tidak dapat ditentukan secara kuantitatif. Plastik PVC yang termasuk polimer yang mempunyai berat molekul tinggi (lebih tinggi dari 15000) dapat larut dalam tetrahidrofur, campuran aseton dan CS_2 , dan metil-etil-eton, sedang PMMA dapat larut dalam bensen, khloroform, butil asetat dan campuran 8 : 2 toluen dengan metil-alkohol sebagai larutan dengan viskositas rendah. Hasil pelarutan plastik "Takiron" membuktikan bahwa plastik ini dapat larut dalam pelarut-pelarut untuk PVC bukan untuk PMMA, hingga dapat disimpulkan untuk sementara bahwa plastik "Takiron" adalah dari jenis PVC.

Data hasil pelarutan plastik "Takiron" adalah sebagai berikut :

P e l a r u t	Larut/tidak larut
sikloheksan	larut
aseton + CS ₂	larut sedikit
metil-etil-keton	larut
dioksan	larut
bensen	tidak larut
kloroform	tidak larut
butil-asetat	tidak larut
aseton	sangat sedikit larut

4. Pengukuran rapat optik.

Untuk keperluan pengukuran rapat optik lembaran plastik "Takiron" dipotong-potong menjadi potongan ukuran 1 x 5 cm, disesuaikan dengan ukuran pegangan cuplikan (*sample holder*) spektrofotometer Beckman 25. Potongan-potongan plastik direndam selama lebih kurang 24 jam dalam larutan K₂Cr₂O₇ dalam suasana asam, kemudian dibilas dengan air bersih dan akhirnya dikeringkan di antara dua lembar kertas tisu (*tissue*) dan dibungkus dengan hati-hati untuk mencegah terjadinya gresan-goresan. Potongan-potongan plastik yang telah dibersihkan dan dibalut ini dipakai untuk percobaan-percobaan pengukuran rapat optiknya.

Pelaksanaan pengukuran rapat optik adalah sebagai berikut :

- Diamati rapat optik potongan-potongan plastik yang telah disiapkan di atas pada daerah panjang gelombang 350-600 nm dan hasil pengamatannya dapat dilihat pada Gambar 3. Hal ini adalah sesuai dengan hasil penelitian J.E. Maul *et.al.* [14]. Pengamatan dilakukan dengan spektrofotometer Beckman tersebut di atas. Sebagai blanko dipakai salah satu potongan-potongan plastik itu juga. Ternyata distribusi rapat optik terhadap berbagai panjang gelombang potongan-potongan plastik itu rata-rata sama, hingga untuk penelitian selanjutnya dapat dipilih bagian yang mana saja dari plastik itu untuk bahan penelitian.
- Pengamatan distribusi rapat optik potongan-potongan plastik yang dipanasi pada 50°, 60°, 70°, 80°, dan 90° C dilakukan pada panjang gelombang 350-600 nm. Ternyata pemanasan tersebut tidak banyak berpengaruh pada spektrum penyerapan plastik "Takiron" itu. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4. Pemanasan dilakukan dengan memakai pemanas yang dilengkapi dengan alat sirkulasi udara dan pengaturan suhu dengan kontak termometer.
- Plastik yang telah diradiasi dengan sinar γ pada cepat dosis yang berbeda-beda diamati rapat optiknya. Pada iradiasi, plastik ditempatkan di pusat ruang iradiasi yang kecepatan dosisnya 100 % (lihat Gambar 1). Sebagai sumber sinar γ digunakan iradiator GAMMACELL 220, yang kecepatan dosisnya adalah sebesar $1,283 \times 10^4$ rad per jam pada waktu iradiasi cuplikan dikerjakan di pusat ruang iradiasi. Pengamatan rapat optik cuplikan yang telah diradiasi dilakukan pada temperatur kamar, kemudian cuplikan dipanasi pada 50°, 60°, 70°, 80°,

dan 90° untuk kemudian diamati rapat optiknya pada panjang gelombang 350-600 nm. Hasil pengamatan ini dapat dilihat pada Gambar 2. Dari hasil pengamatan dapat dibaca, bahwa terjadi kenaikan intensitas serapan dan kenaikan rapat optik sebanding dengan kenaikan dosis radiasi yang diterima oleh cuplikan. Di samping itu pada pengamatan spektrum serapan dalam daerah sinar-tampak, terlihat adanya empat buah puncak serapan maksimum yang terdapat pada panjang gelombang 395,425, 452 dan 475 nm. Fenomena perubahan spektrum serapan pada cuplikan-cuplikan yang diradiasi dengan sinar γ yang besarnya sebanding dengan dosis penerimaan itu, merupakan hal yang menarik untuk diadakan penelitian dan dipelajari kemungkinan plastik "Talciron" dipakai sebagai dosimeter untuk sinar γ .

Pengaruh perlakuan panas pada cuplikan yang telah diradiasi, pada dosis 1 Mrad dan daerah pemanasan antara $50^\circ - 90^\circ$ C dapat dilihat pada Gambar 5. Pengukuran rapat optik dilakukan sesaat setelah pemanasan selama 15, 30 dan 60 menit, pada panjang gelombang 395 nm. Terlihat pada Gambar 5 bahwa pada pemanasan 60° selama 15, 30 dan 60 menit terdapat suatu maksimum rapat optiknya. Sehubungan dengan efek pudar-warna (*fading effect*) maka suhu 60° C ini dipakai sebagai suhu pemanasan yang terbaik. Kemudian ditentukan berapa lama waktu yang layak untuk pemanasan 60° C itu pada penelitian lebih lanjut. Untuk ini cuplikan diradiasi pada dosis 1 Mrad kemudian dipanasi selama 10 menit, 20 menit dan seterusnya. Hasil pengamatan rapat optik versus waktu pemanasan pada 60° C, dapat dilihat pada Gambar 6. Dari grafik dapat dibaca bahwa rapat optik pada pemanasan antara 25

menit sampai 40 menit adalah tetap (pada grafik garis lebih kurang datar). Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh J.E. Maul *et.al.* [14] hingga cukup beralasan untuk memilih waktu 30 menit pemanasan sebagai waktu yang terbaik. Pada keadaan ini warna plastik cukup stabil hingga pengukuran rapat optik tidak terganggu.

Di samping itu juga diteliti pengaruh pemanasan pada berbagai temperatur dan pengaruh lamanya pemanasan pada berbagai temperatur tersebut terhadap perubahan intensitas serapan maksimum dari plastik yang telah diradiasi pada dosis 1 Mrad. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 7, 8 dan 9. Dari grafik-grafik dapat dibaca bahwa pada temperatur antara 50° - 70° C, tidak terjadi penggeseran hypsochrom, yaitu penggeseran puncak serapan maksimum ke arah panjang gelombang yang lebih pendek.

- Diteliti juga pengaruh waktu penyimpanan terhadap rapat optik cuplikan yang telah diradiasi. Warna yang terjadi pada plastik yang disinari dengan sinar γ itu tidak stabil, artinya setelah selang beberapa waktu warna berubah-ubah. Pada umumnya perubahan warna itu bersifat mula-mula kenaikan intensitas warna untuk kemudian diikuti dengan pemudaran warna. Gambar 11 memperlihatkan perubahan rapat optik cuplikan yang disimpan tanpa perlakuan lebih lanjut, setelah diradiasi 0,549 Mrad. Dari grafik Gambar 11 dapat dibaca, selama 6 jam pertama terjadi kenaikan intensitas warna dengan cepat, kemudian kenaikan intensitas tidak begitu cepat lagi sampai kira-kira 96 jam berikutnya dan akhirnya terjadi pemudaran warna. Pengamatan berikutnya adalah pengaruh suhu pada perubahan rapat optik cuplikan-cuplikan yang di-

simpan setelah diradiasi. Pada Gambar 10 dapat dilihat perubahan rapat optik beberapa cuplikan yang telah diradiasi 1 Mrad dan disimpan dalam ruang yang suhunya 3° C. Terlihat pada grafik bahwa turun naik rapat optik tidak teratur selama selang waktu penyimpanan.

Selanjutnya diamati pengaruh pemanasan cuplikan-cuplikan yang telah diradiasi 0,549 Mrad dan 1,097 Mrad. Pemanasan dilakukan selama 30 menit pada temperatur kamar, 50° , 60° , 70° , 80° dan 90° . Bagaimana pengaruh pemanasan terhadap rapat optik selama penyimpanan cuplikan-cuplikan dapat dilihat pada Gambar 12 dan 13. Dari grafik gambar-gambar tersebut dapat dibaca dengan mudah bahwa pemanasan 60° menyebabkan pemurunan rapat optik lebih teratur dari pada pemanasan pada temperatur lainnya, selama cuplikan disimpan.

- Penelitian selanjutnya adalah mengenai sifat kedapat-ulang atau reproduksibilitas cuplikan-cuplikan plastik "Takiron" yang akan digunakan sebagai dosimeter untuk sinar γ . Suatu alat ukur yang baik adalah alat, yang bila diadakan pengukuran berulang-ulang dengan alat itu pada kondisi pengukuran yang sama, memberikan hasil pengukuran yang sama atau hampir sama. Untuk menguji kedapat-ulang ini diambil 8 potong plastik asal dari bagian lembaran plastik "Takiron" yang sembarang saja, kemudian diradiasi pada dosis 0,549 Mrad dan 1,097 Mrad. Posisi cuplikan selama diradiasi adalah di pusat ruang iradiasi (lihat Gambar 1). Setelah iradiasi cuplikan dipanaskan pada suhu 60° selama 30 menit. Pengukuran rapat optik dilakukan pada panjang gelombang 395 nm. Hasil pengukuran dimuat pada Tabel I.
- Penelitian yang terakhir mengenai mempelajari kemungkinan pemakaian

plastik PVC dengan nama dagang "Takiron" sebagai dosimeter untuk sinar γ , adalah pembuatan kurva kalibrasi. Untuk ini cuplikan-cuplikan diradiasi pada berbagai macam dosis dan setelah iradiasi cuplikan-cuplikan masing-masing dipanasi 60° C selama 30 menit dan diukur rapat optiknya pada panjang gelombang 395 nm. Kurva Kalibrasi yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 14. Dari kurva kalibrasi dapat dilihat, bahwa linieritas rapat optik terdapat antara dosis 0,15 Mrad - 1,2 Mrad.

T A B E L I

Kedapat-ulang plastik PVC "Takiron" sebagai dosimeter sinar γ

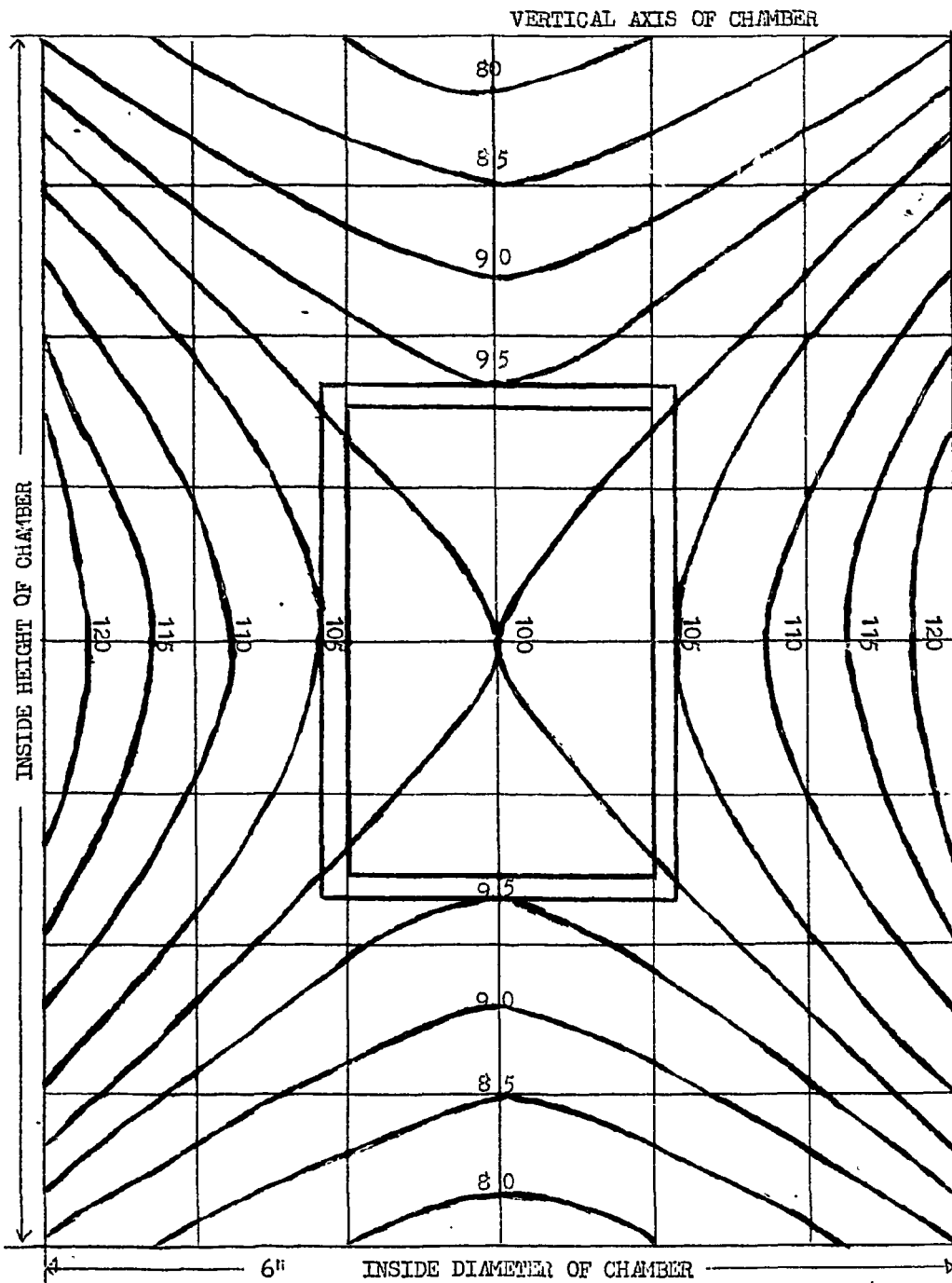
No. Cuplikan	Rapat optik pada dosis	
	0,549 Mrad	1,097 Mrad
1	0,336	0,884
2	0,340	0,887
3	0,340	0,884
4	0,333	0,873
5	0,336	0,890
6	0,334	0,878
7	0,334	0,884
8	0,341	0,889
Rata-rata	0,337	0,884
Penyimpangan rata-rata	0,772 %	0,937 %

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan untuk mempelajari kemungkinan plastik dengan nama dagang "Takiron" dipakai sebagai dosimeter sinar γ dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Plastik dengan nama dagang "Takiron" adalah jenis polimer vinil-klorida atau PVC, yang kemurniannya masih harus ditentukan lebih lanjut, karena pada penelitian yang dikerjakan di sini masih belum dilakukan uji kemurnian plastik tersebut.
2. Plastik PVC dengan nama dagang "Takiron" dapat dipakai sebagai dosimeter untuk sinar γ pada batas-batas dosis radiasi 0,15 Mrad - 1,2 Mrad.
3. Untuk menahan terjadinya pudar-warna pada dosimeter plastik "Takiron" tersebut, yang telah diradiasi dengan sinar gamma, dosimeter perlu dipanasi pada 60° C selama 30 menit setelah dosimeter itu di radiasi dengan sinar γ .
4. Dosimeter plastik "Takiron" mempunyai kedapat-ulang dalam batas penyimpangan $\pm 0,9$ %, pada pemakaiannya untuk pengukuran dosis sinar γ .

GAMBAR 1. Kurva isodosis GAMMACELL 220



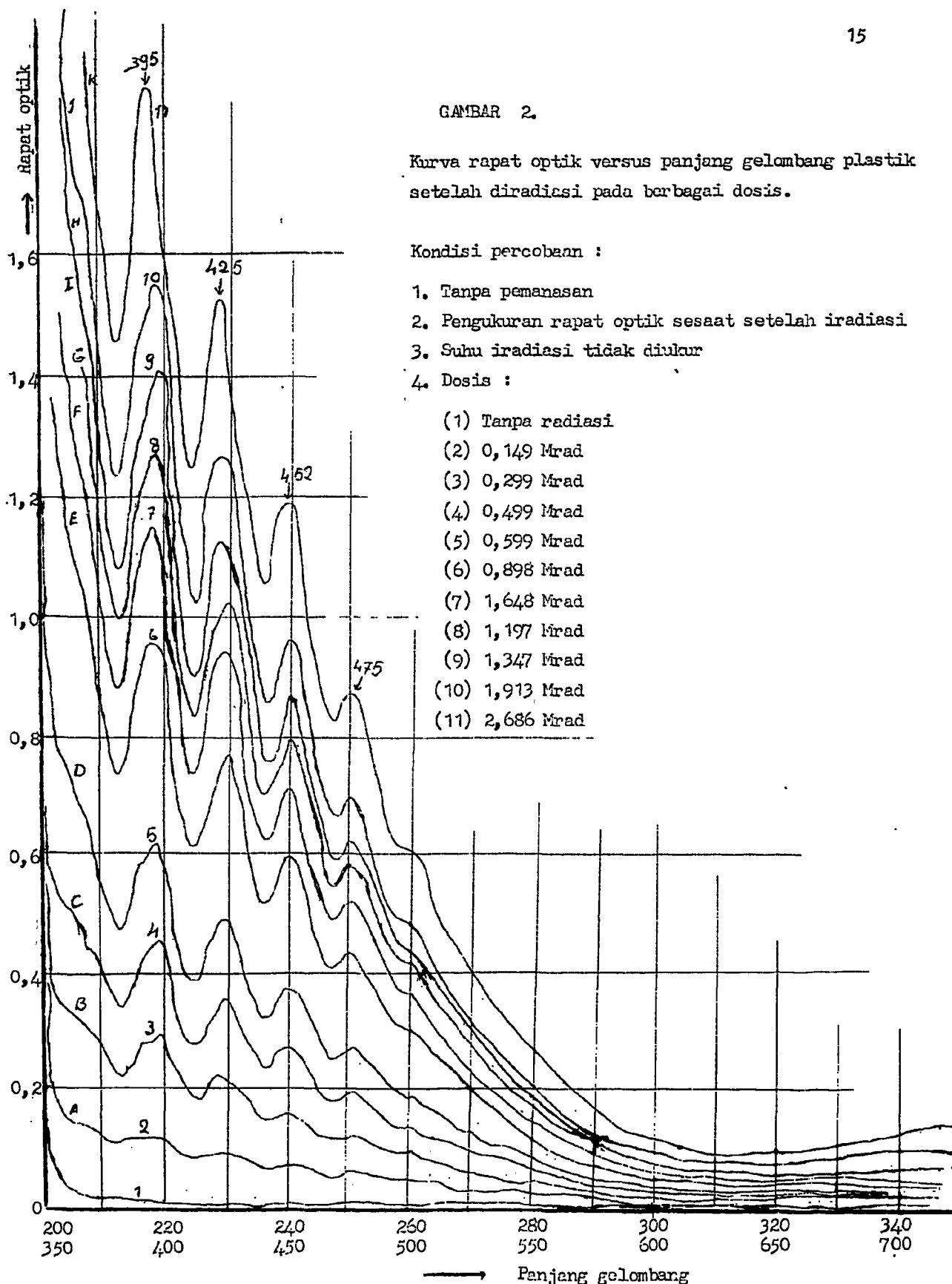
GAMBAR 2.

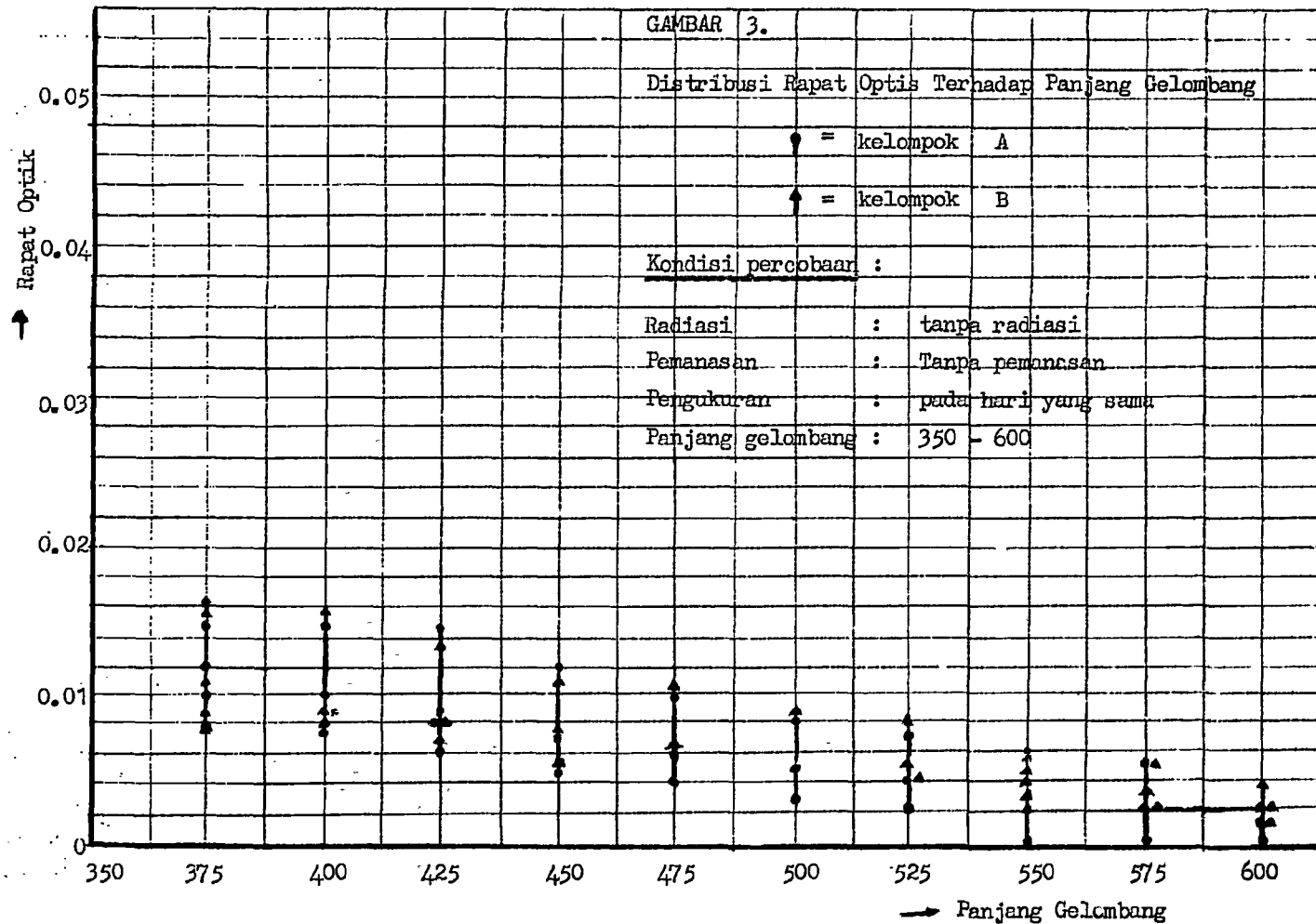
Kurva rapat optik versus panjang gelombang plastik setelah diradiasi pada berbagai dosis.

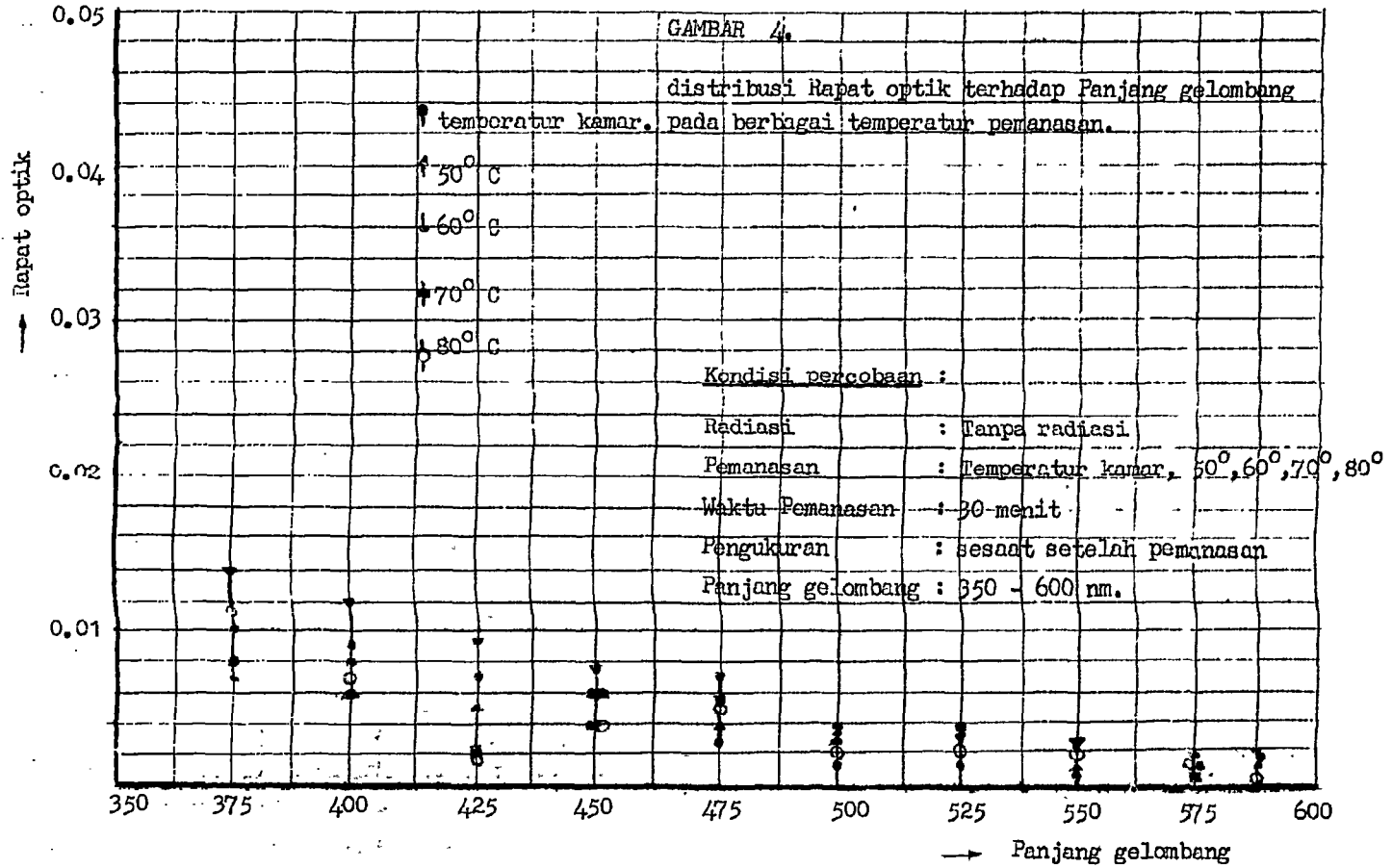
Kondisi percobaan :

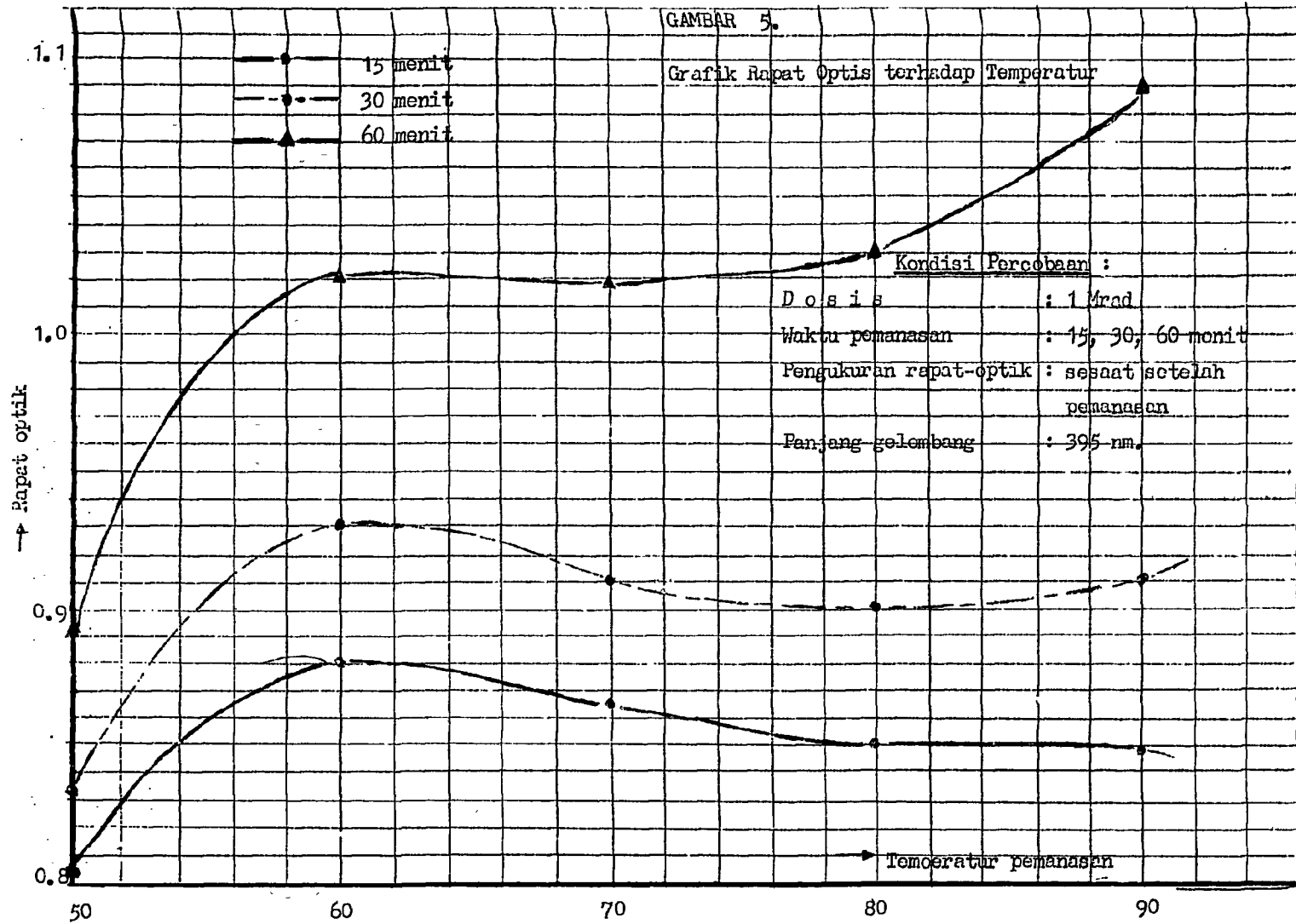
1. Tanpa pemanasan
2. Pengukuran rapat optik sesaat setelah iradiasi
3. Suhu iradiasi tidak diukur
4. Dosis :

- (1) Tanpa radiasi
- (2) 0,149 Mrad
- (3) 0,299 Mrad
- (4) 0,499 Mrad
- (5) 0,599 Mrad
- (6) 0,898 Mrad
- (7) 1,648 Mrad
- (8) 1,197 Mrad
- (9) 1,347 Mrad
- (10) 1,913 Mrad
- (11) 2,686 Mrad

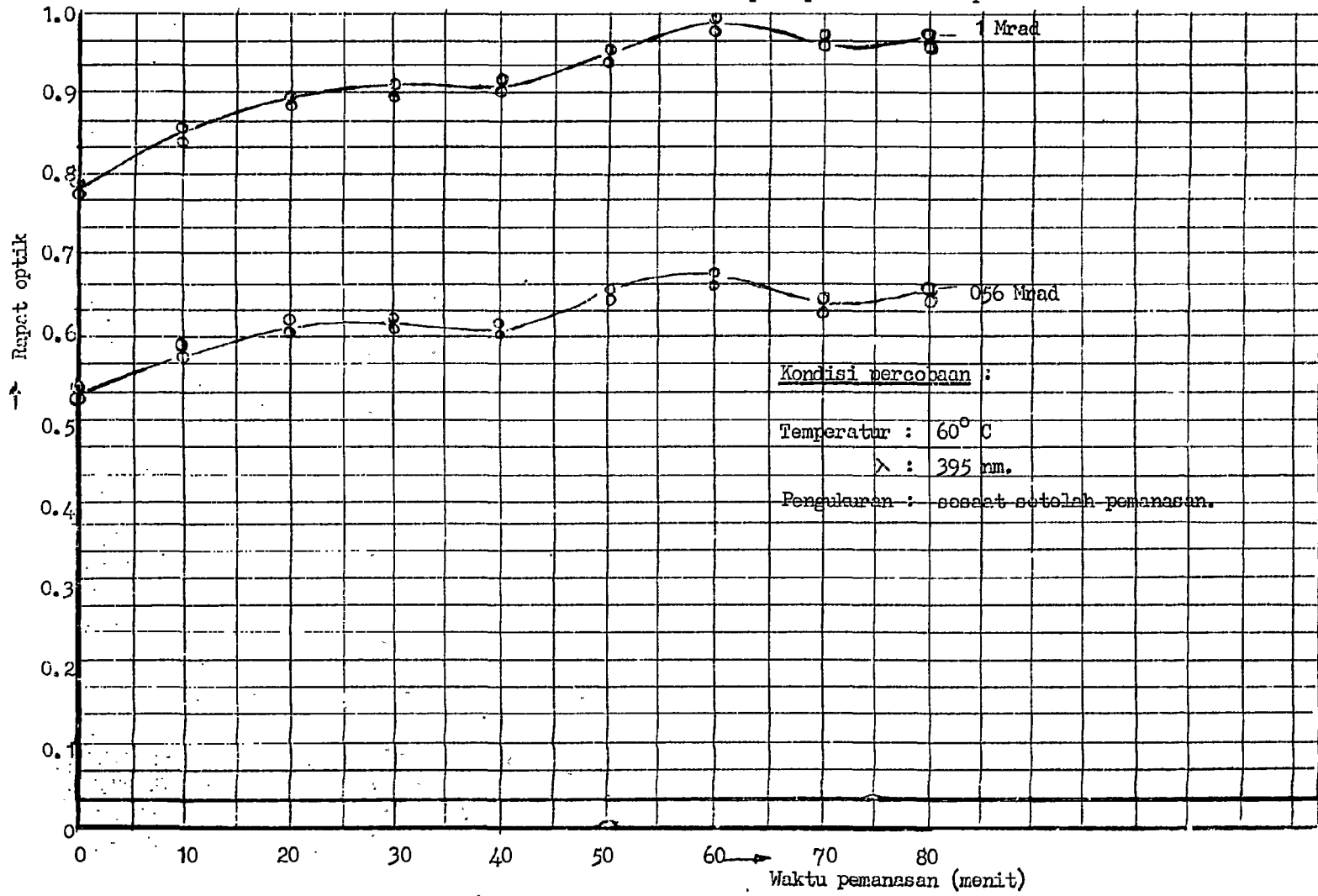






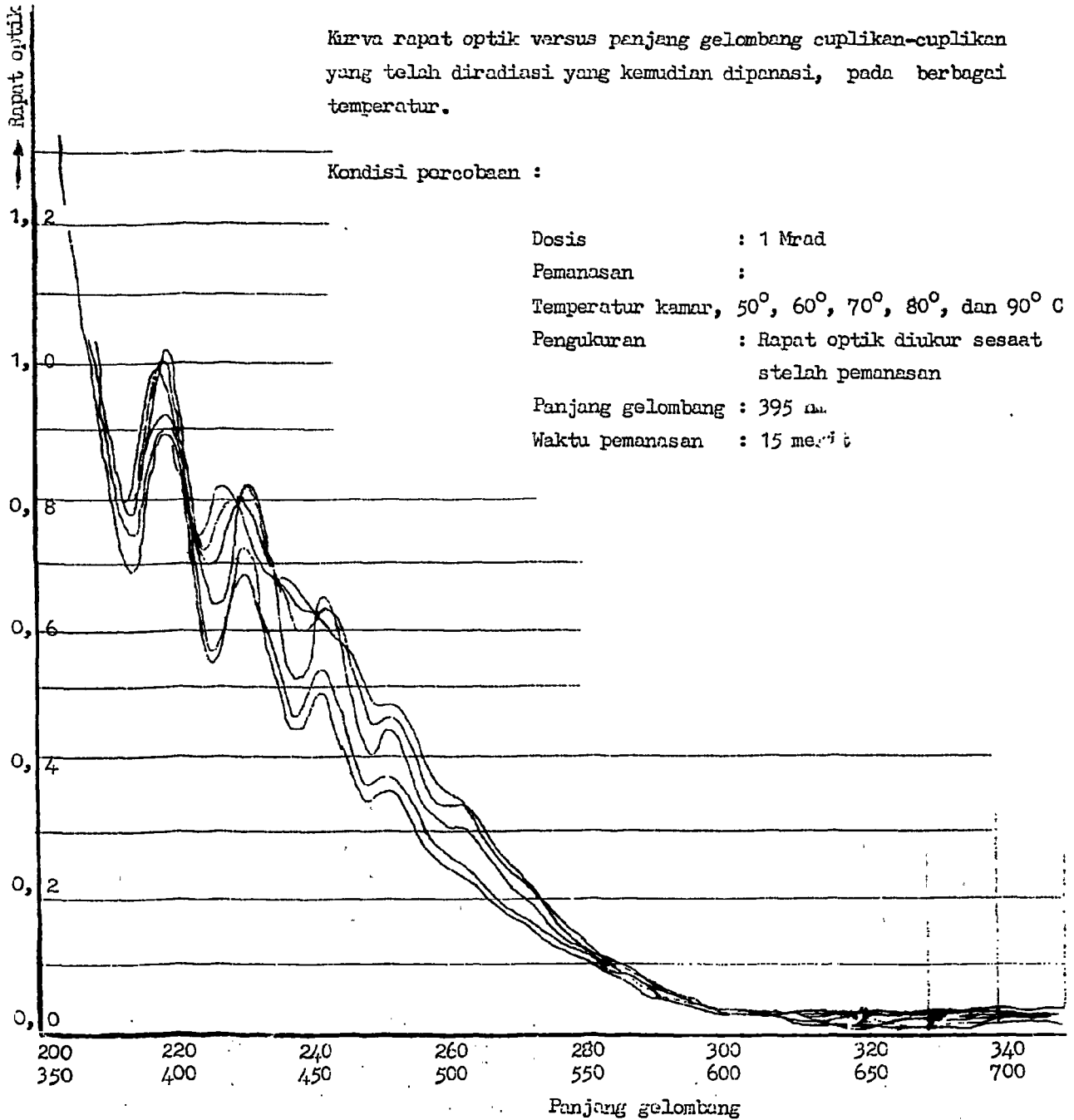


GAMBAR 6. Rapat optik Vs waktu pemanasan



GANBAR 7.

Kurva rapat optik versus panjang gelombang cuplikan-cuplikan yang telah diradiasi yang kemudian dipanasi, pada berbagai temperatur.



GAMBAR 8.

Kurva rapat optik versus panjang gelombang cuplikan-cuplikan yang telah diradiasi yang kemudian dipanasi pada berbagai temperatur.

Kondisi percobaan :

Dosis : 1 Mrad

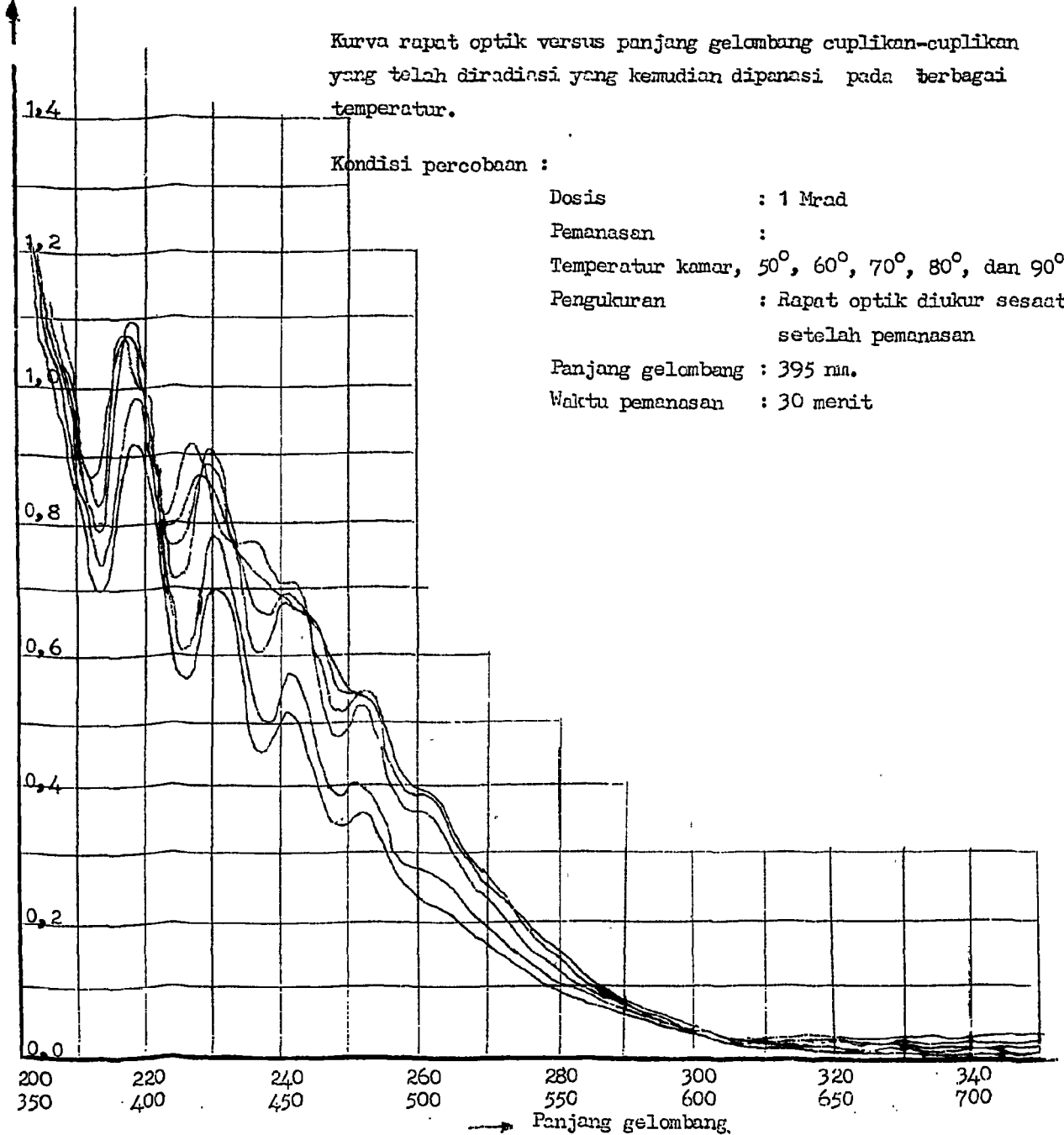
Pemanasan :

Temperatur kamar, 50° , 60° , 70° , 80° , dan 90° C

Pengukuran : Rapat optik diukur sesaat setelah pemanasan

Panjang gelombang : 395 nm.

Waktu pemanasan : 30 menit

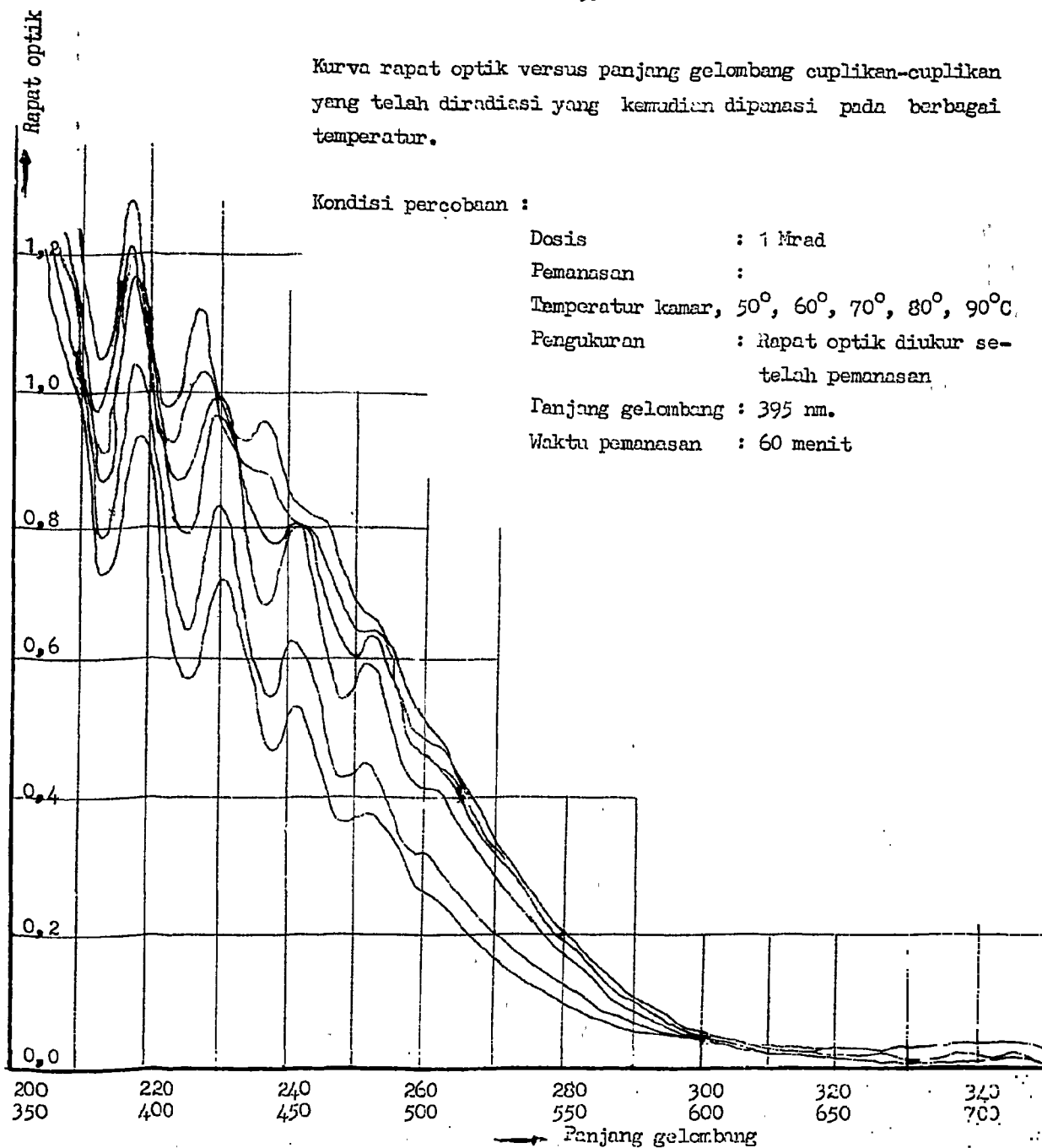


GANBAR 9.

Kurva rapat optik versus panjang gelombang cuplikan-cuplikan yang telah diradiasi yang kemudian dipanasi pada berbagai temperatur.

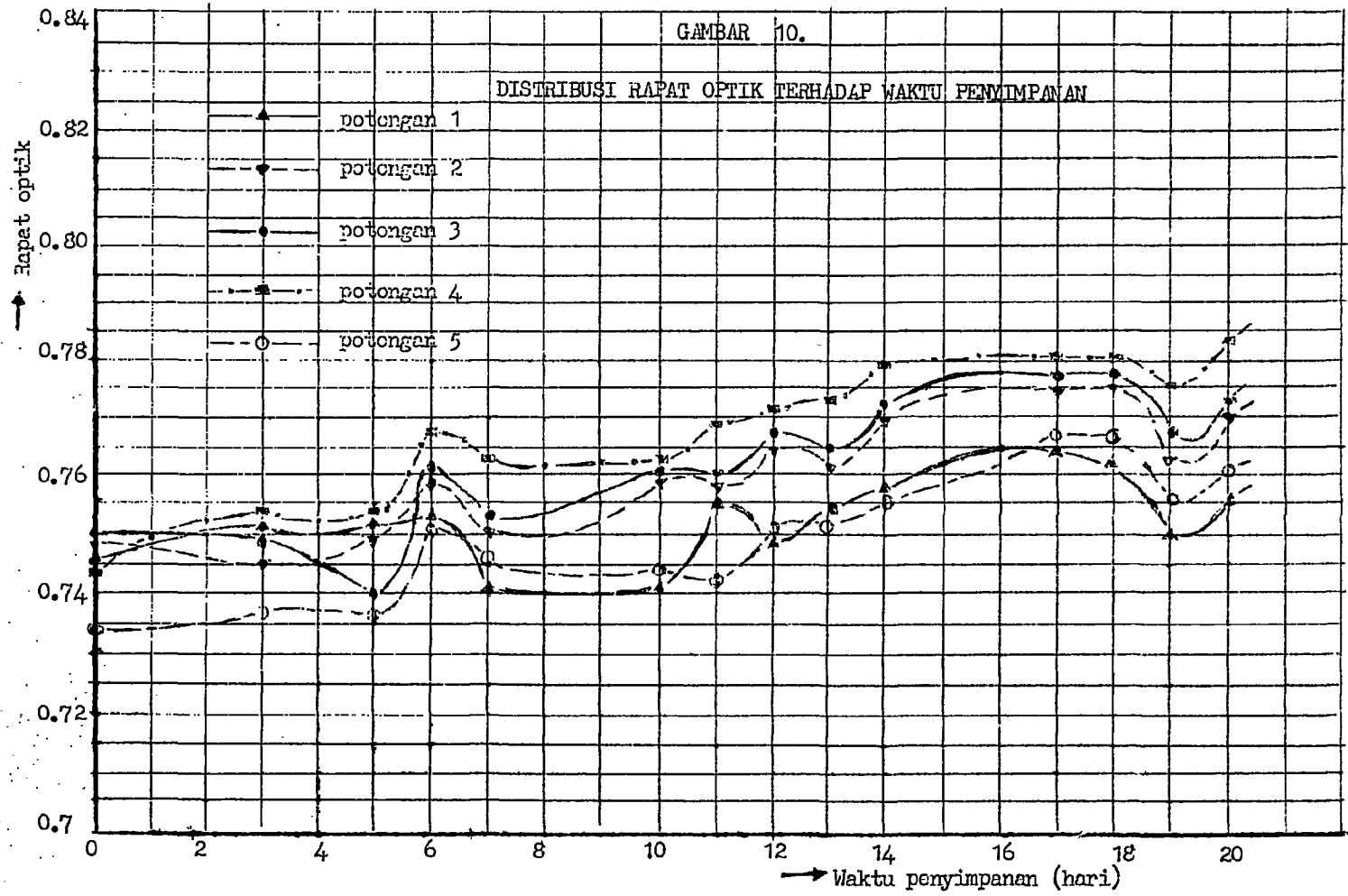
Kondisi percobaan :

Dosis : 1 Mrad
 Pemanasan :
 Temperatur kamar, 50°, 60°, 70°, 80°, 90°C
 Pengukuran : Rapat optik diukur setelah pemanasan
 Panjang gelombang : 395 nm.
 Waktu pemanasan : 60 menit



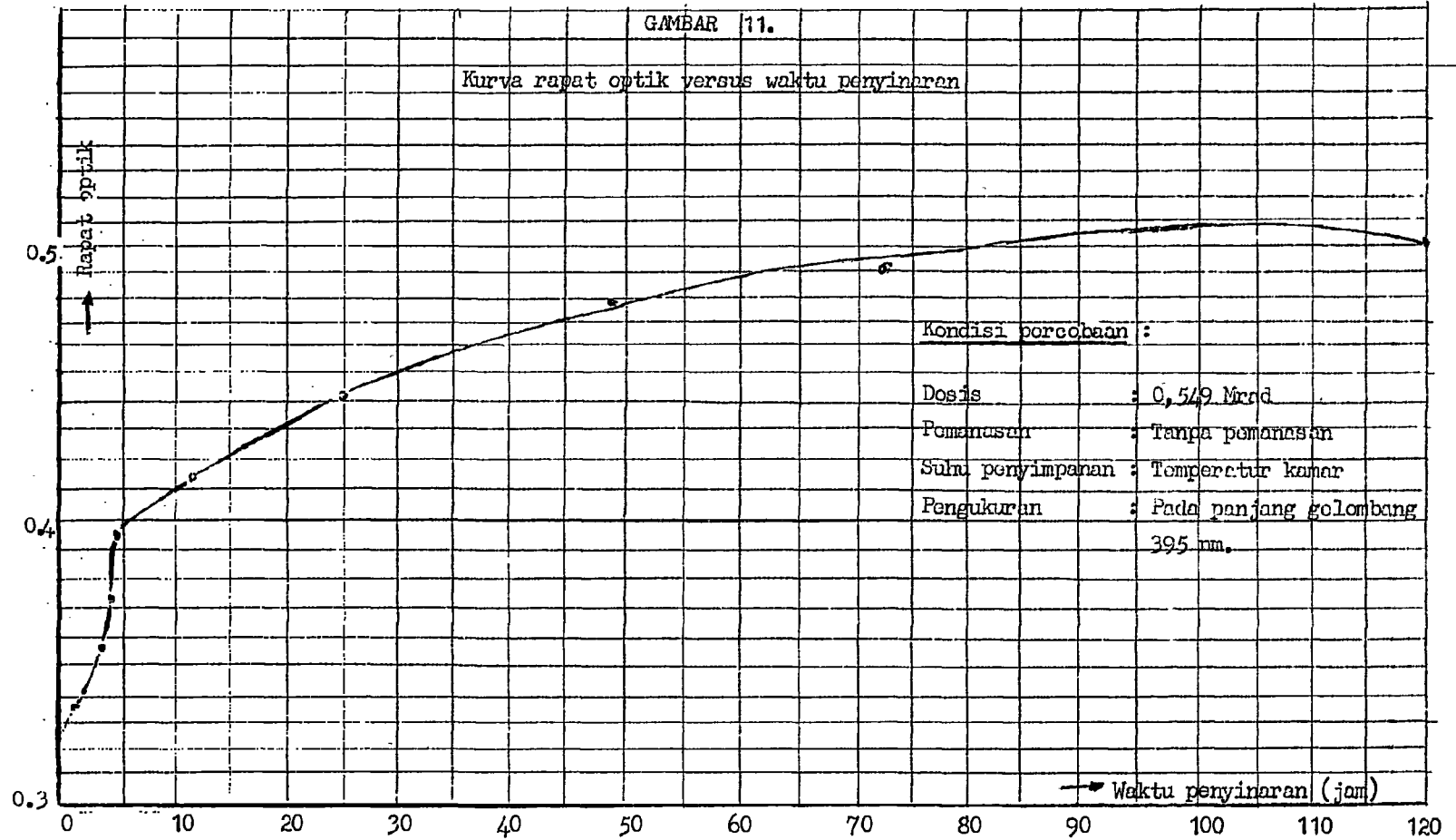
GAMBAR 10.

DISTRIBUSI RAPAT OPTIK TERHADAP WAKTU PENYIMPANAN

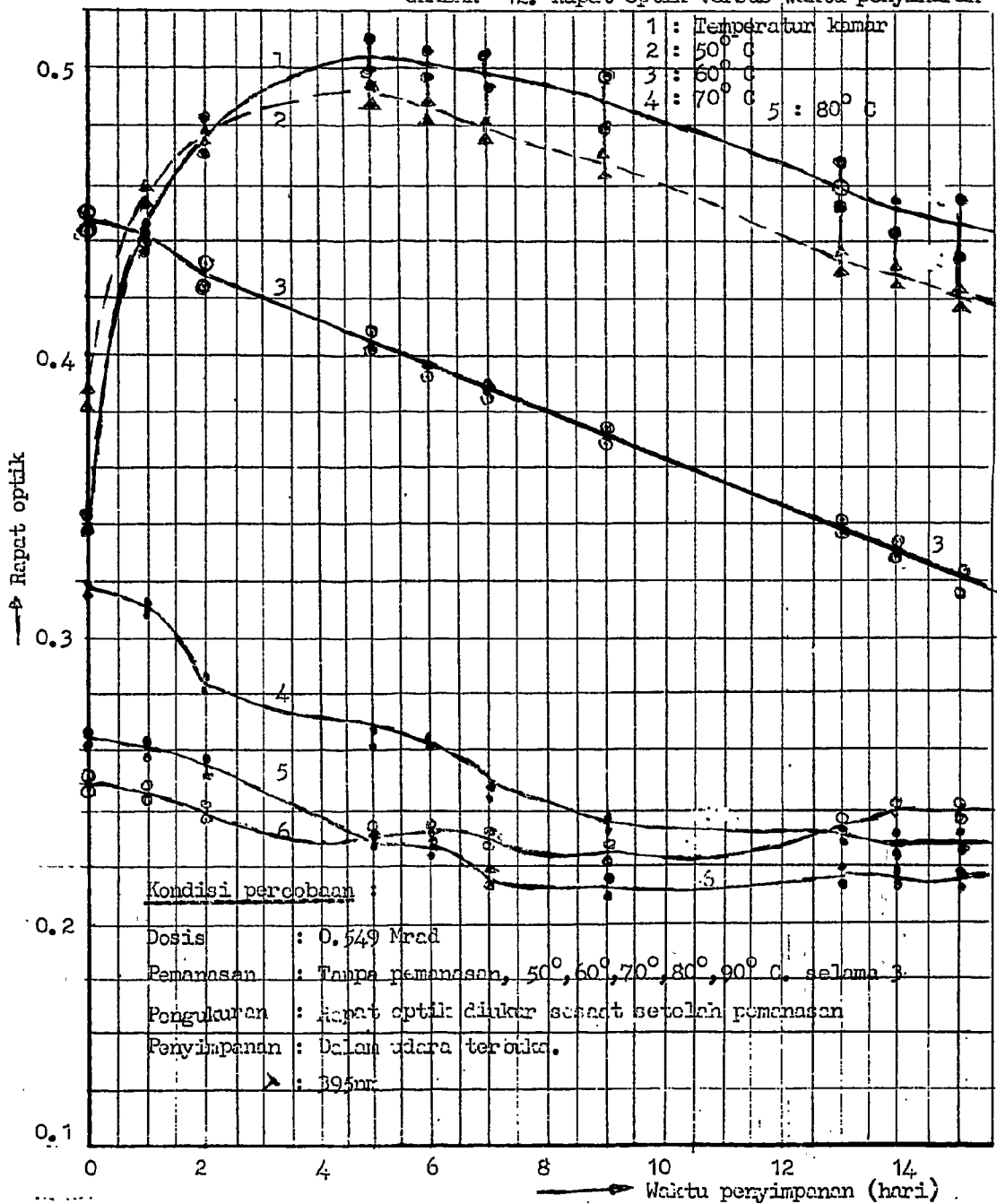


GAMBAR 11.

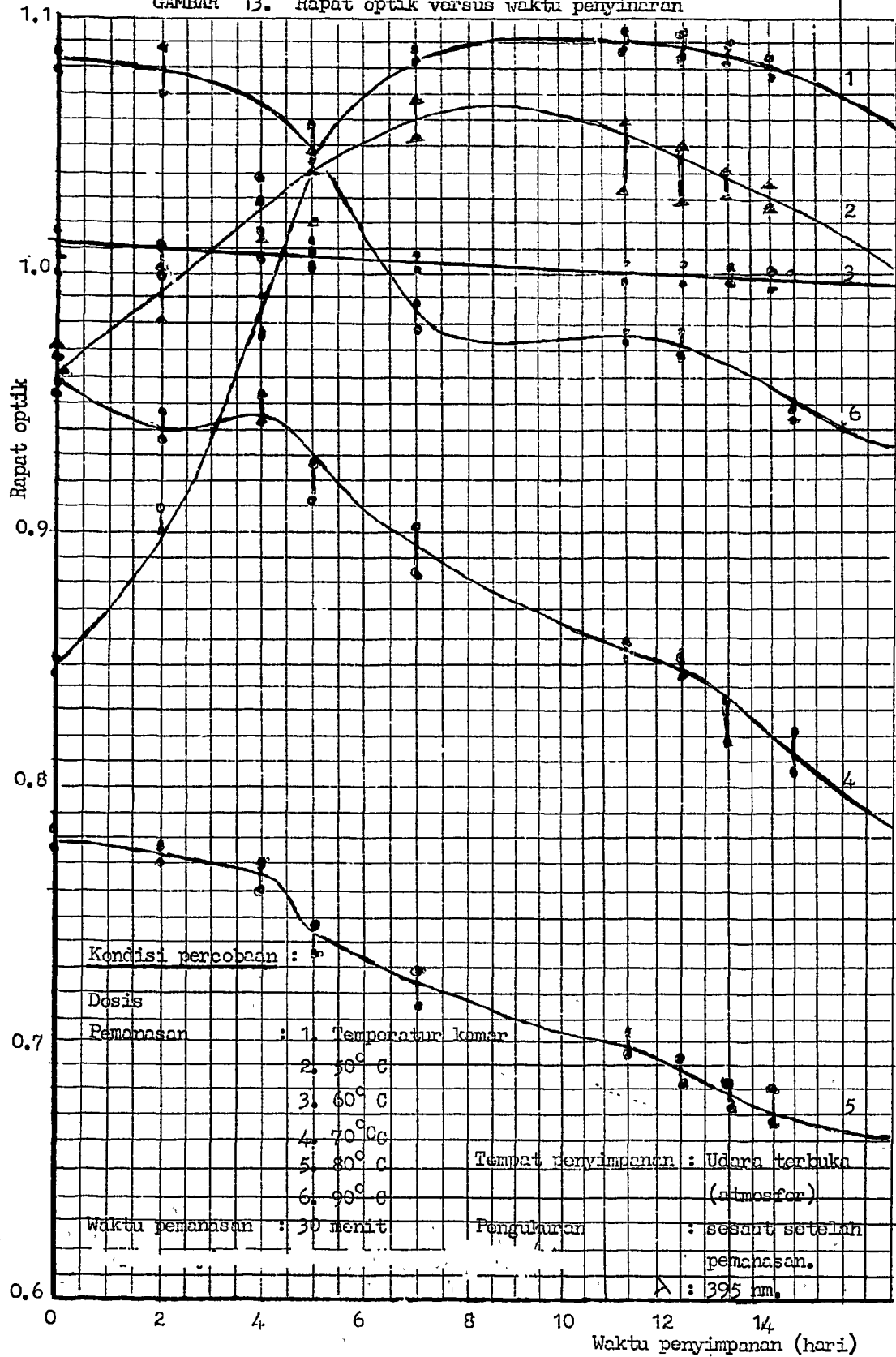
Kurva rapat optik versus waktu penyinaran



GAMBAR 12. Rapat optik versus waktu penyinaran

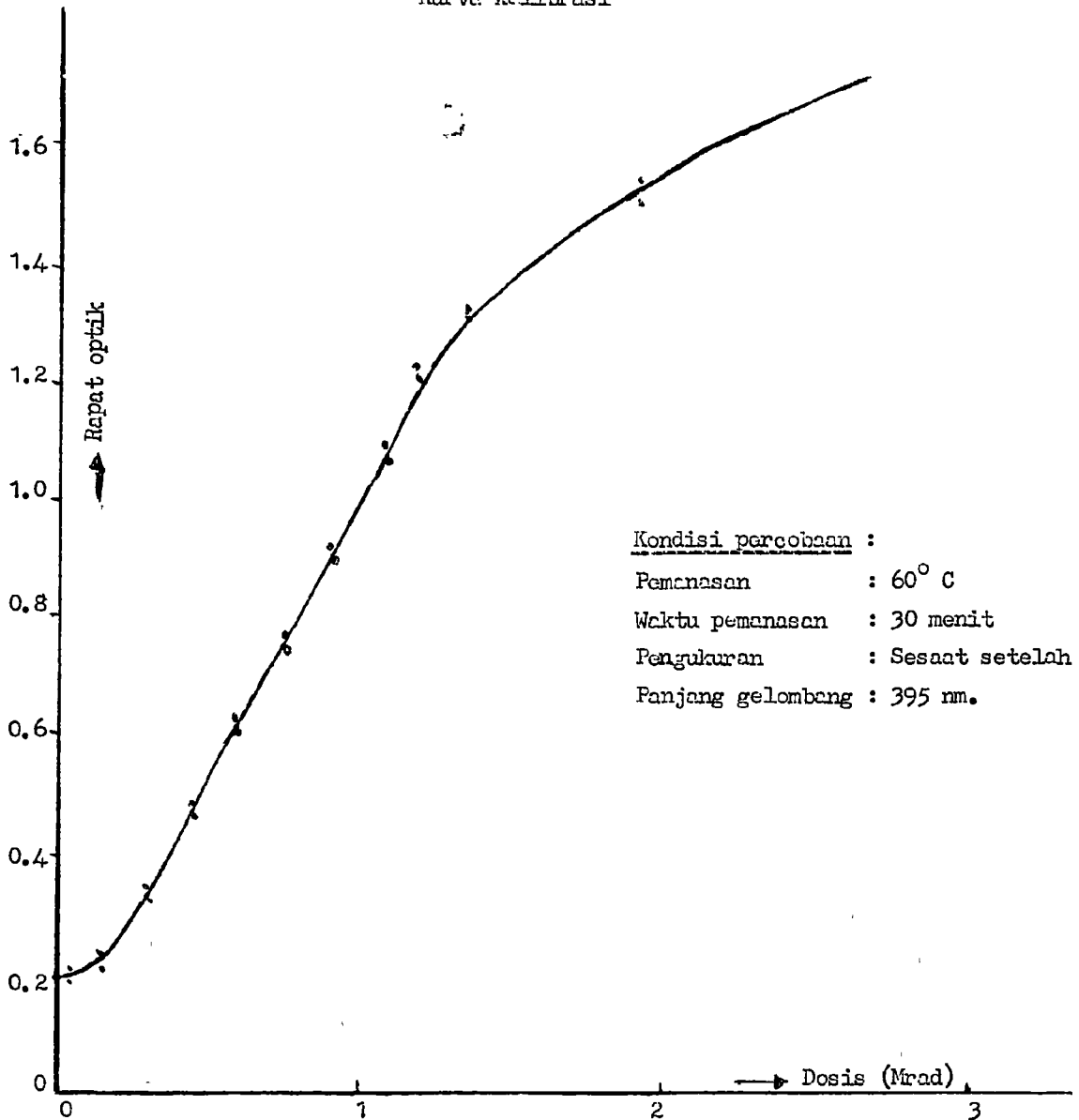


GAMBAR 13. Rapat optik versus waktu penyinaran



GAMBAR 14.

Kurva kalibrasi



DAFTAR PUSTAKA

1. Attix, Frank H, "Radiation Dosimetri. vol I", Academic Press, second edition, New York and London 1968.
2. Attix, Frank H, "Radiation Dosimetri. vol II", Academic Press, second edition, New York and London 1966.
3. Arumbinang H, "Pengukuran kecepatan dosis Gamma sel 220 dengan kaca mikroskop dan sistem kimia", Pusat Penelitian Pasca Jumat, Batan, Jakarta, 1970.
4. Broszkiewicz, "Chemical dosimetry of ionization radiation, solid state and chemical radiation dosimetry in medicine and biology", proceedings of a symposium, Vienna, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1967.
5. Fricke, H and Morse, "The chemical action of roentgen rays on dilute ferrousulfate solution as a measure of dose", American journal roentgenol, radium therapy Nucl. Med 18,430.
6. Puspodikoro, S, "Dosimeter kimia dari radiasi pengion", Pusat Penelitian Tenaga Atom Gama, Yogyakarta, 1972.
7. Rosinger et al, "Chemical dosimetry by the ferrousulfate method", Proceedings of the second United Nation International Conference on the peaceful uses of atomic energy, vol 21, Geneva, 1958.
8. Schlman, J.H, "Solid state for radiation measure", proceedings of the second United Nation International Conference on peaceful uses of atomic energy, vol 21, Geneva, 1958.
9. Willard, Merritt, Dean, "Instrumental method of analysis", D. Van Nostrand, fifth edition, New York, 1977.
10. Weiss, J. Allen, A.O. Schwarz HA, "Uses of the Fricke ferrous sulfate dosimeter for Gamma for-ray dose in the range 4 to 40 Krad", Proc. Int., P.U.A.E., Vol IV, United Nation, 1956.
11. Yatim, S, "Kemungkinan penggunaan plastik yang terdapat dipasar sebagai dosimeter", Majalah Batan Vol VI No. 2 dan 3, 1973.
12. Yatim, S, "Beberapa aspek dalam penggunaan dosimeter kimia Fricke", Majalah Batan, Vol. IV, No.2, 1971.
13. Holm NW, Berry RJ, "Manual on radiation dosimetry", Marcel Dekker, Inc, New York, 1970.
14. Maul, JE, Holm AW, Draganik IG, "The use of Polyvinyl chloride film for ⁶⁰Co Radiation Dosimetry", Riso report No. 31, 1961.