

Pengesan Optik, Piezoelektrik-fotoakustik

W. Mahmood Mat Yunus dan Z.A. Talib

Jabatan Fizik

Universiti Pertanian Malaysia

43400 UPM Serdang, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

Received 14 July 1992

ABSTRAK

Satu pengesan optik berasaskan pengesanan kesan fotoakustik pada plat logam dilaporkan. Pengesan jenis ini digunakan dalam satu eksperimen untuk mengukur garis pusat Gaussian alur laser menggunakan kaedah pinggir-pisau. Sambutan pengesan berubah dari $4.05\mu\text{V}/\text{mW}$ pada 68Hz hingga $1.25\mu\text{V}/\text{mW}$ pada 211Hz. Garis pusat Gaussian alur laser didapati dari data ujikaji ialah $(0.88 \pm 0.02)\text{mm}$ dan nilai ini selaras dengan nilai yang dicatatkan dalam nota speksifikasi laser.

ABSTRACT

An optical detector based on piezoelectric detection of the photoacoustic effect in an absorbing metal plate is reported. Such a detector has been used in an experiment for measuring a Gaussian laser beam diameter using the knife-edge method. The responsivity of the detector varied from $4.05\mu\text{V}/\text{mW}$ at 68Hz to $1.25\mu\text{V}/\text{mW}$ at 211Hz. The Gaussian laser beam diameter obtained from the experimental data is $(0.88 \pm 0.02)\text{mm}$ and this value is comparable with the value stated in the laser specification note.

Keywords: Pengesan optik, piezoelektrik, fotoakustik, garis pusat Gaussian alur laser

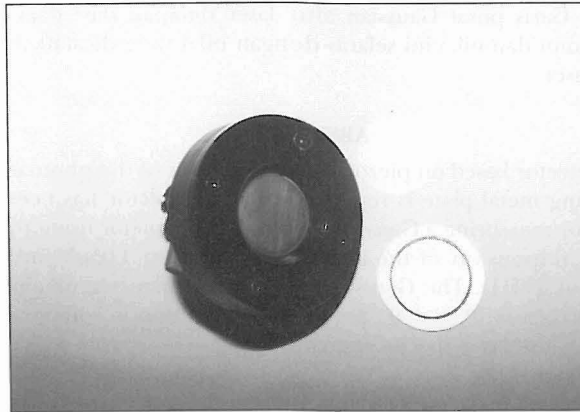
PENGENALAN

Kebanyakan pengesan optik terdiri dari fotodiod, fotosel suria dan pendarab foton. Akhir-akhir ini pengesan kuasa sinaran alur optik berasaskan kepada isyarat fotoakustik telah banyak dipergunakan (Satheeshkumar and Vallabhan 1985; Rai *et al.* 1987; Peralta *et al.* 1988). Isyarat fotoakustik boleh dikesan melalui dua cara, iaitu menggunakan mikrofon (Rosencwaig and Gersho 1976) dan unsur piezoelektrik (Jackson and Amer 1980). Satheeshkumar dan Vallabhan (1985) telah membincangkan penggunaan mikrofon biasa untuk mengesan isyarat fotoakustik dengan tujuan untuk mengukur kuasa sinaran alur laser dalam julat kuasa keluaran ($5\mu\text{W} - 10\text{W}$). Rai *et al.* (1987) pula telah menggunakan pengesan optik yang serupa dan telah mengukur kuasa sinaran alur laser dalam julat kuasa keluaran ($5\text{mW} - 1\text{W}$). Mengukur kuasa keluaran alur laser menggunakan teknik fotoakustik telah juga dilaporkan oleh Peralta *et al.* (1988) dengan menggunakan unsur piezoelektrik sebagai alat pengesan yang mampu mengukur kuasa keluaran alur laser dalam julat ($50\text{mW} - 1\text{W}$). Penggunaan pengesan yang linear dalam julat kuasa keluaran laser yang tinggi ini

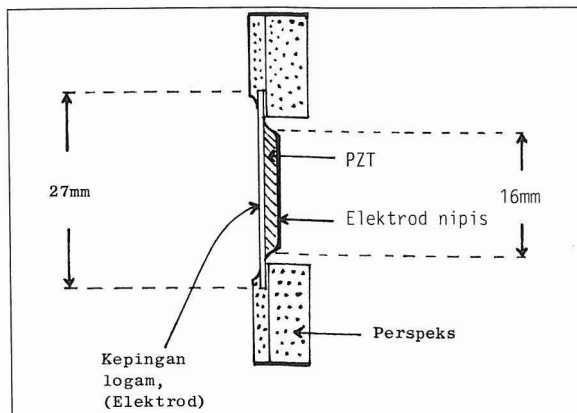
sangat berguna untuk mencipta meter kuasa sebuah laser. Kertas ini bertujuan untuk membincangkan penggunaan unsur piezoelektrik sebagai pengesan optik alur laser HeNe 5mW dan menggunakan pengesan tersebut untuk mengukur garis pusat Gaussian alur laser.

Teknik Ujikaji

Rekabentuk pengesan optik menggunakan unsur piezoelektrik yang diuji dalam kajian ini ditunjukkan dalam *Plat 1*. Unsur piezoelektrik yang digunakan adalah terdiri dari transduser bunyi yang dibekalkan oleh Newport (Newport product HC-524). Unsur piezoelektrik ini terdiri dari seramik PZT yang dilekatkan pada kepingan logam loyang nipis bersaiz 27 mm garis pusat. Keratan rentas pengesan ini ditunjukkan pada *Rajah 1*.



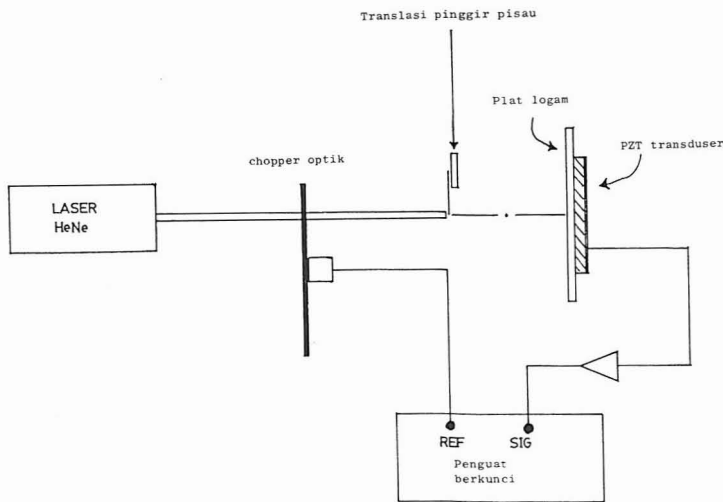
Plat 1. Gambarfoto pengesan optik, menggunakan prinsip piezoelektrik-foarakustik



Rajah 1. Keratan rentas pengesan optik; kepingan logam penyerap dan unsur peizoelektrik

Salah satu dari cara menggunakan pengesan optik jenis ini ialah dengan memerlukan alur laser yang jatuh keatas kepingan loyang dimodulasikan. Keadaan ini dilakukan dengan menggunakan pencantas optik (*Rajah 2*). Isyarat voltan yang terhasil pada elektrod pengesan berkadar terus dengan kuasa keluaran alur laser dan berkadar songsang dengan frekuensi modulasi (Jackson and Amer 1980) yang dirumuskan seperti berikut,

$$V = K(p/\omega)$$



Rajah 2. Susunan ujikaji untuk mengukur garispusat Gaussian alur laser

K ialah pemalar unsur piezoelektrik, p dan ω masing-masing ialah kuasa keluaran laser dan frekuensi modulasi. Isyarat voltan ini ditentuukurkan dengan meter kuasa laser piawai (Scientech model :38-0101). Kajian keatas pengesan yang direka adalah meliputi kelinearan untuk julat < 5 mW, sambutan terhadap frekuensi modulasi, sambutan merintanggi garis pusat pengesan dan sambutan terhadap sudut tuju alur yang jatuh ke atas permukaan pengesan.

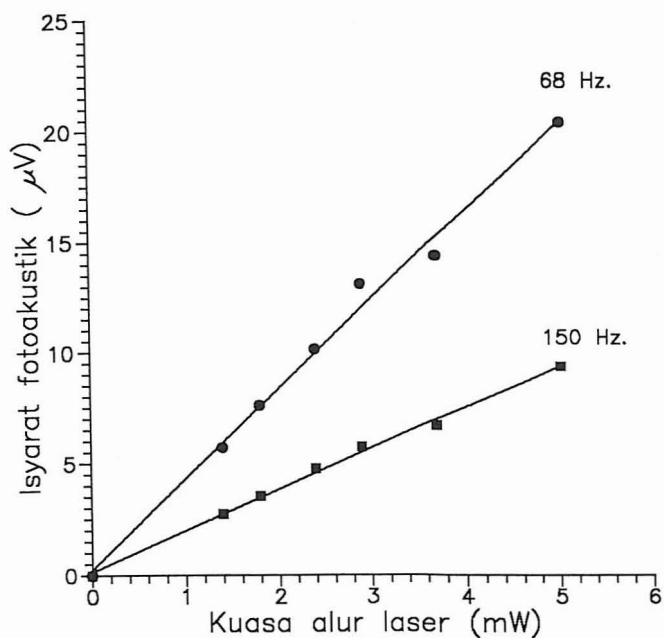
Seterusnya pengesan yang dibina digunakan untuk mengukur garis pusat Gaussian satu alur laser dengan kaedah “pinggir-pisau”. Susunan ujikaji untuk tujuan ini ditunjukkan dalam *Rajah 2*. Punca cahaya ialah laser HeNe $\lambda = 0.6328\mu\text{m}$ (RS 150) dengan keluaran maksimum 5 mW. Modulasi alur laser dilakukan dengan pencantas optik (SR 540) yang keluarannya digunakan sebagai isyarat rujukan penguat berkunci. Isyarat dari pengesan diproses oleh penguat berkunci (SR510) dan direkodkan

sebagai isyarat fotoakustik terhadap translasi "pinggir-pisau". Nilai garis pusat Gaussian alur laser ini dikira dari data ujikaji berdasarkan algoritham yang diutarakan oleh Khosrofian dan Garetz (1983).

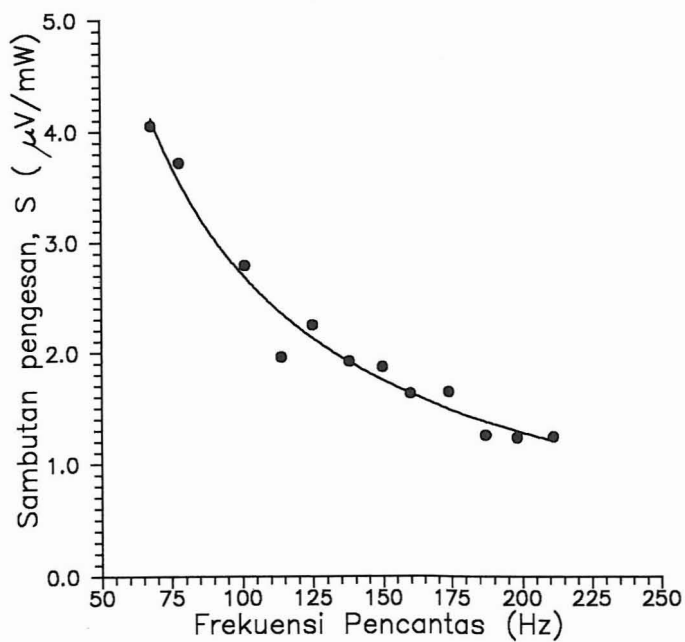
KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Sifat kelinearan dan sambutan pegas terhadap frekuensi modulasi, garis pusat luas permukaan dan sudut tuju ditunjukkan dalam *Rajah 3 - 6*. Isyarat fotoakustik sebagai fungsi kepada frekuensi modulasi yang memenuhi kaitan $V = Af^1$ telah pun dibincangkan oleh Mahmood *et al.* (1992). *Rajah 3* menjelaskan bahawa isyarat piezoelektrik adalah berkadar linear dengan kuasa keluaran alur laser untuk setiap nilai frekuensi yang dipilih. Nilai pekali korelasi untuk frekuensi modulasi 68Hz dan 150 Hz ialah masing-masing direkodkan sebagai 0.985 dan 0.995. Sisihan titik data ujikaji dari garis penyesuaian terbaik dianggarkan kurang dari 15% dan nilai ini lebih kecil dari anggaran yang dilaporkan oleh Satheeshakumar dan Vallabhan (1985) menggunakan pegas fotoakustik mikrofon-gas sistem. Keputusan yang serupa juga diperolehi untuk nilai-nilai frekuensi yang lain. Seterusnya keputusan ujikaji dalam *Rajah 4* menunjukkan bahawa sambutan pegas, S , terhadap frekuensi modulasi adalah mengecil dengan pertambahan nilai frekuensi. Didapati nilai sambutan terhadap frekuensi pencantas optik berubah dari $4.05\mu\text{V}/\text{mW}$ pada 58Hz kepada $1.25\mu\text{V}/\text{mW}$ pada 211Hz. Dari garis penyesuaian terbaik untuk kes ini kaitan sambutan pegas, S dengan frekuensi, f dapat ditulis sebagai, $S = 392f^1$. *Rajah 5* pula menjelaskan bahawa sambutan pegas bersifat malar diatas satu luas permukaan pegas yang bergaris pusat 16mm. Ini sama dengan luas lapisan bahan seramik PZT (16mm garis pusat) yang dilekatkan dibelakang plat loyang nipis (*Rajah 1*). Keadaan ini mencadangkan lapisan PZT menghasilkan isyarat sambutan yang sama pada keseluruhan luas yang dilapisi oleh PZT tersebut. Berasaskan kepada maklumat ini, kawasan yang sensitif pada permukaan pegas boleh direkabentuk bersesuaian dengan ujikaji dengan mengubah saiz luas lapisan PZT yang dilekatkan dibelakang plat logam. Sambutan pegas juga bersifat malar untuk alur tuju yang tidak melebihi 60° , seperti ditunjukkan oleh *Rajah 6*. Keputusan ini bersetuju dengan fenomena optik yang dijelaskan oleh persamaan Fresnel (Born & Wolf 1975) mengenai keterpantulan optik permukaan logam. Kedua-dua sifat tersebut diatas membolehkan pegas ini digunakan sebagai pegas optik tanpa menghadapi masalah penjajaran alur yang kritikal.

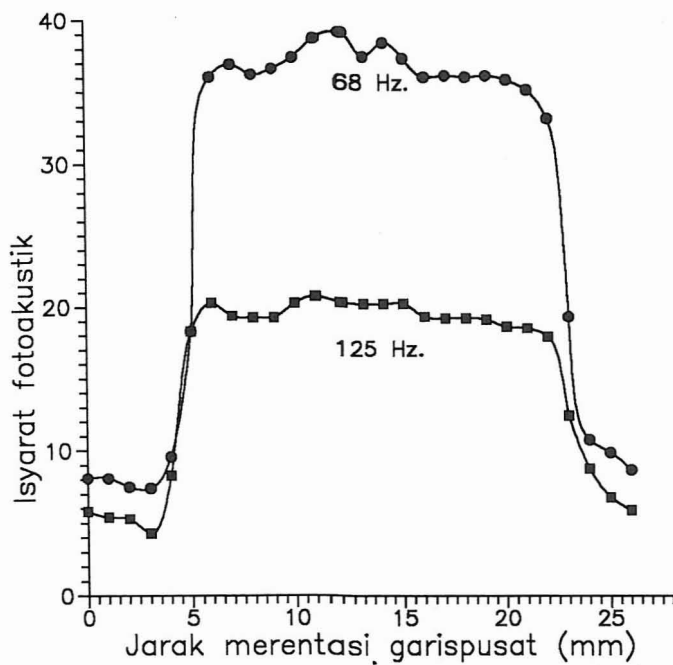
Rajah 7 menunjukkan persetujuan data ujikaji dengan lengkung penyesuaian teori untuk menentukan garis pusat Gaussian alur laser HeNe (5 mW). Nilai garis pusat Gaussian yang dikira dan direkodkan bernilai $(0.88 \pm 0.02)\text{mm}$ dan nilai ini bersetuju dengan nilai dalam spesifikasi laser HeNe yang digunakan. Cara kerja untuk mengira nilai ini telah



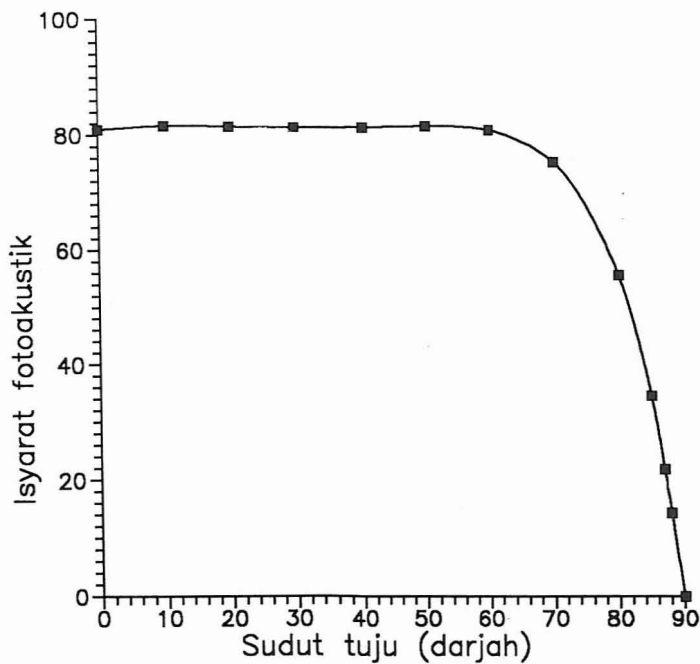
Rajah 3. Sifat kelinearan isyarat fotoakustik dengan kuasa keluaran alur laser



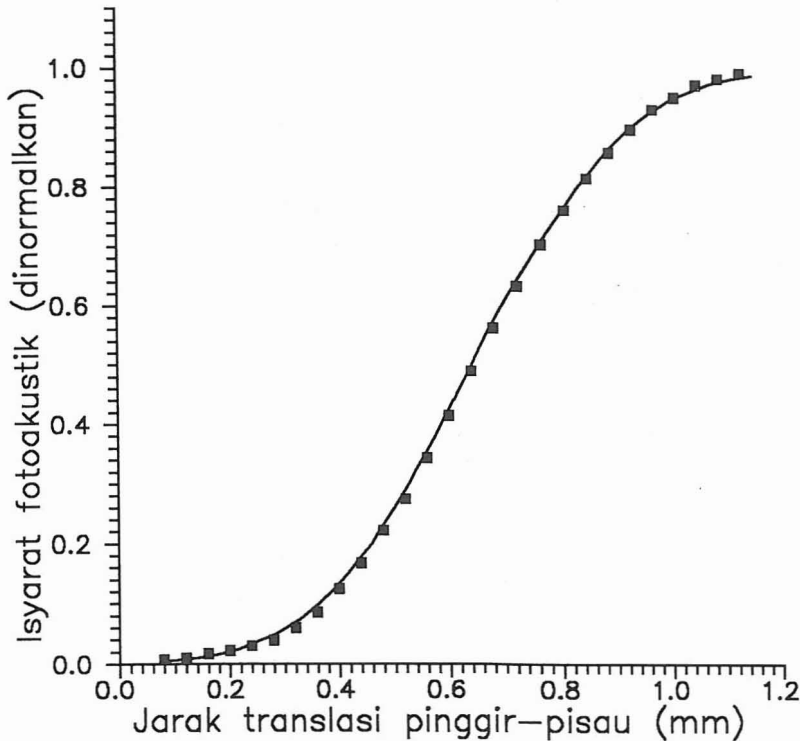
Rajah 4. Sambutan pengesan sebagai fungsi kepada frekuensi pencantas optik



Rajah 5. Isyarat fotoakustik sebagai fungsi kepada jarak merentasi garis pusat permukaan pengesan



Rajah 6. Isyarat fotoakustik sebagai fungsi kepada sudut tuju alur laser



Rajah 7. Isyarat fotoakustik yang dinormalkan diplot sebagai fungsi kepada jarak translasi pinggir-pisau

dibincangkan dengan teliti oleh Talib and Mahmood (1992). Keputusan ini serupa dengan keputusan yang dilaporkan oleh Khosrofian and Garetz (1983) yang telah menggunakan pengesan fotodiod.

KESIMPULAN

Penemuan ujikaji ini dapat memberi kesimpulan bahawa penggunaan piezoelektrik untuk mengesan isyarat fotoakustik boleh digunakan sebagai pengesan optik yang mempunyai beberapa kelebihan seperti berikut; (I) mempunyai sifat kelinearan yang baik sehingga beberapa milliwatt; (II) memberi sambutan yang malar diatas satu permukaan yang luas sama dengan luas unsur bahan piezoelektrik dan (III) untuk nilai sudut tuju $< 60^\circ$ sambutan pengesan tidak bergantung kepada sudut tuju. Dengan tiga kelebihan ini bererti pengesan jenis ini sesuai digunakan sebagai pengesan optik tanpa menghadapi masalah yang kritikal dalam penjajaran alur. Dengan mengubah saiz bahan pizoelektrik luas permukaan pengesan yang sensitif juga boleh dibuat bersesuaian dengan kehendak ujikaji.

PENGHARGAAN

Kedua-dua pengarang ingin merakamkan terima kasih kepada kawan sejawat kerana telah memberi kerjasama dan bantuan dalam menjayakan kajian ini. Segala kemudahan yang disediakan oleh Jabatan juga sangat-sangat kami hargai.

RUJUKAN

- BORN, M. and E. WOLF. 1975. *Principles of Optics*. Oxford: Pergamon.
- JACKSON, W. and N. M. AMER. 1980. Piezoelectric photoacoustic detection: theory and experiment. *J. Appl. Phys.* **51**: 3343-3353.
- KHOSROFIAN, J. M. and B. A. GARETZ. 1983. Measurements of Gaussian laser beam diameter through the direct inversion of knife-edge data. *Appl. Opt.* **22**: 3406-3410.
- MAHMOOD MAT YUNUS, W. and Z.A. TALIB. 1992. A simple demonstration of piezoelectric photoacoustic detection. *Phys. Educ. (India)* **9(2)**: 89-92.
- PERALTA, S. B., H. H. AL-KHAFAJI, and A. A. WILLIAMS. 1988. Photoacoustic optical power meter using piezoelectric detection. *J. Phys. E: Sci. Instrum.* **21**: 195-196.
- RAI, V. N., S. N. THAKUR and D. K. RAI. 1987. A simple laser power meter dependent on photoacoustics effect. *J. Phys. E: Sci. Instrum.* **20**: 1472-1476.
- ROSENCAWIG A. and A. GERSHO. 1976. Theory of the photoacoustic effect with solids. *J. Appl. Phys.* **47**: 64-69.
- SATHEESHKUMAR, M.K. and C. P. G. VALLABHAN. 1985. Use of a photoacoustic cell as a sensitive laser power meter. *J. Phys. E: Sci. Instrum.* **18**: 434-436.
- TALIB, Z. A. and W. MAHMOOD MAT YUNUS. 1993. Measuring Gaussian laser beam diameter using piezoelectric photoacoustic detection. *Meas. Sci. Technol.* **4**: 22-25.