

Adopsi dan Difusi Teknologi Pengukuran Tekanan Intraokular Non-Invasif Pada Pemeriksaan Kesehatan di Kota Semarang

Sari Ayu Wulandari¹, Wisnu Adi Prasetyanto², Cynthia Arsita³, Arga Dwi Pambudi⁴ ^{1,2} Program Studi Teknik Biomedis, Fakultas Teknik, Universitas Dian Nuswantoro

³ Program Studi Kedokteran, Fakultas Kedokteran, Universitas Dian Nuswantoro

⁴ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Dian Nuswantoro

E-mail: ¹sari.wulandari@dsn.dinus.ac.id, ²wisnuap@dsn.dinus.ac.id, ³cynthia.arsita@dsn.dinus.ac.id, ⁴arga.dwi@dsn.dinus.ac.id

Abstrak

Program Pengabdian Masyarakat (PKM) di Kota Semarang, Jawa Tengah, bertujuan untuk mengatasi rendahnya adopsi teknologi kota pintar, khususnya dalam inisiatif pemeriksaan kesehatan. Di tengah meningkatnya prevalensi glaukoma, tingkat pemeriksaan penyakit mata di wilayah ini masih rendah. Inisiatif PKM ini menawarkan pengembangan tonometer yang terjangkau dan non-invasif untuk pengukuran tekanan intraokular guna memfasilitasi pemeriksaan dan pemantauan glaukoma dini. Implementasinya meliputi desain perangkat, survei partisipasi pemeriksaan, dan analisis hasil pengukuran dibandingkan dengan tonometer referensi. Alat ini diharapkan dapat membantu deteksi dini glaukoma dan membantu mengurangi hambatan adopsi teknologi. Survei yang dilakukan sebelum dan sesudah program menunjukkan peningkatan pemahaman masyarakat, sementara uji kalibrasi menunjukkan perangkat memiliki akurasi tinggi dengan tingkat kesalahan minimal 1,71 mmHg, yang menunjukkan efektivitasnya untuk pemeriksaan tekanan intraokular.

Kata kunci: adopsi teknologi, non-invasive, smart tonometer

Abstract

The Community Service Program (PKM) in Semarang City, Central Java, aims to address the low adoption of smart city technology, particularly in health screening initiatives. Amid a rising prevalence of glaucoma, the rate of eye disease screening in this region remains low. This PKM initiative offers the development of an affordable, non-invasive tonometer for intraocular pressure measurement to facilitate early glaucoma screening and monitoring. The implementation includes device design, screening participation surveys, and analysis of measurement results compared to a reference tonometer. This tool is expected to aid in early glaucoma detection and help reduce adoption barriers to technology. Surveys conducted before and after the program indicate increased public understanding, while calibration tests show the device has high accuracy with a minimal error rate of 1.71 mmHg, demonstrating its effectiveness for intraocular pressure screening.

Keywords: non-invasive, smart tonometer, technology adoption

1. PENDAHULUAN

Kota Semarang, Jawa Tengah, memiliki potensi signifikan dalam pengembangan konsep kota pintar (smart city), khususnya pada sektor kesehatan digital. Transformasi digital dalam pelayanan kesehatan telah menjadi bagian penting dalam peningkatan efisiensi dan aksesibilitas layanan medis [1]. Namun demikian, tingkat adopsi dan difusi teknologi kesehatan di masyarakat masih relatif rendah, terutama pada perangkat medis untuk skrining penyakit kronis. Faktor penerimaan teknologi dan kesesuaian tugas-teknologi menjadi determinan utama dalam keberhasilan implementasi inovasi kesehatan [2]. Salah satu permasalahan prioritas di Kota Semarang adalah rendahnya tingkat pemeriksaan penyakit mata, meskipun prevalensi glaukoma terus meningkat. Glaukoma merupakan penyebab utama kebutaan permanen di dunia, dan peningkatan tekanan intraokular (intraocular pressure/IOP) merupakan faktor risiko utama dalam progresivitas penyakit ini [3]. Oleh karena itu, skrining tekanan intraokular yang akurat dan mudah diakses menjadi sangat penting untuk deteksi dini. Perangkat tonometri portabel yang tersedia saat ini memiliki harga relatif tinggi dan memerlukan perlengkapan tambahan seperti media ultrasound atau sistem kalibrasi khusus [4]–[6], sehingga meningkatkan biaya operasional layanan skrining. Secara klinis, tonometer digunakan untuk mengukur tekanan intraokular melalui beberapa metode, antara lain tonometri applanasi, non-kontak, dan rebound [7], [8]. Goldmann applanation tonometry (GAT) masih dianggap sebagai standar emas karena tingkat akurasinya yang tinggi, namun memerlukan kontak langsung dengan kornea.

Alternatif seperti transpalpebral tonometry dan rebound tonometry telah dikembangkan untuk meningkatkan kenyamanan pasien [9]. Studi perbandingan terbaru menunjukkan bahwa metode non-kontak dan rebound memiliki potensi sebagai alat skrining cepat meskipun terdapat variasi hasil dibandingkan GAT [10]. Dalam perkembangan teknologi terkini, pendekatan non-invasif berbasis ultrasonografi (USG) menjadi alternatif yang menjanjikan. Ultrasound biomicroscopy telah digunakan untuk evaluasi segmen anterior mata dan menunjukkan sensitivitas tinggi terhadap perubahan struktur akibat peningkatan tekanan intraokular [11], [12]. Penelitian internal sebelumnya menunjukkan akurasi deteksi sebesar 92% dengan tingkat kesiapan teknologi (TRL) 5 [13]. Selain itu, pengembangan sistem non-kontak berbasis pembelajaran mendalam (deep learning) menunjukkan akurasi tinggi dalam mendeteksi tekanan intraokular abnormal tanpa kontak langsung dengan kornea [14]. Integrasi kecerdasan buatan dalam diagnosis dan monitoring glaukoma juga dilaporkan meningkatkan efisiensi dan konsistensi interpretasi klinis [15]. Bahkan, prediksi progresi glaukoma berbasis AI telah menjadi arah penelitian terkini dalam oftalmologi digital [16]. Dengan mengintegrasikan teknologi ultrasonografi, kecerdasan buatan, dan sistem berbasis cloud, proyek ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas skrining, memperluas akses layanan, serta mendukung transformasi digital kesehatan di Kota Semarang.

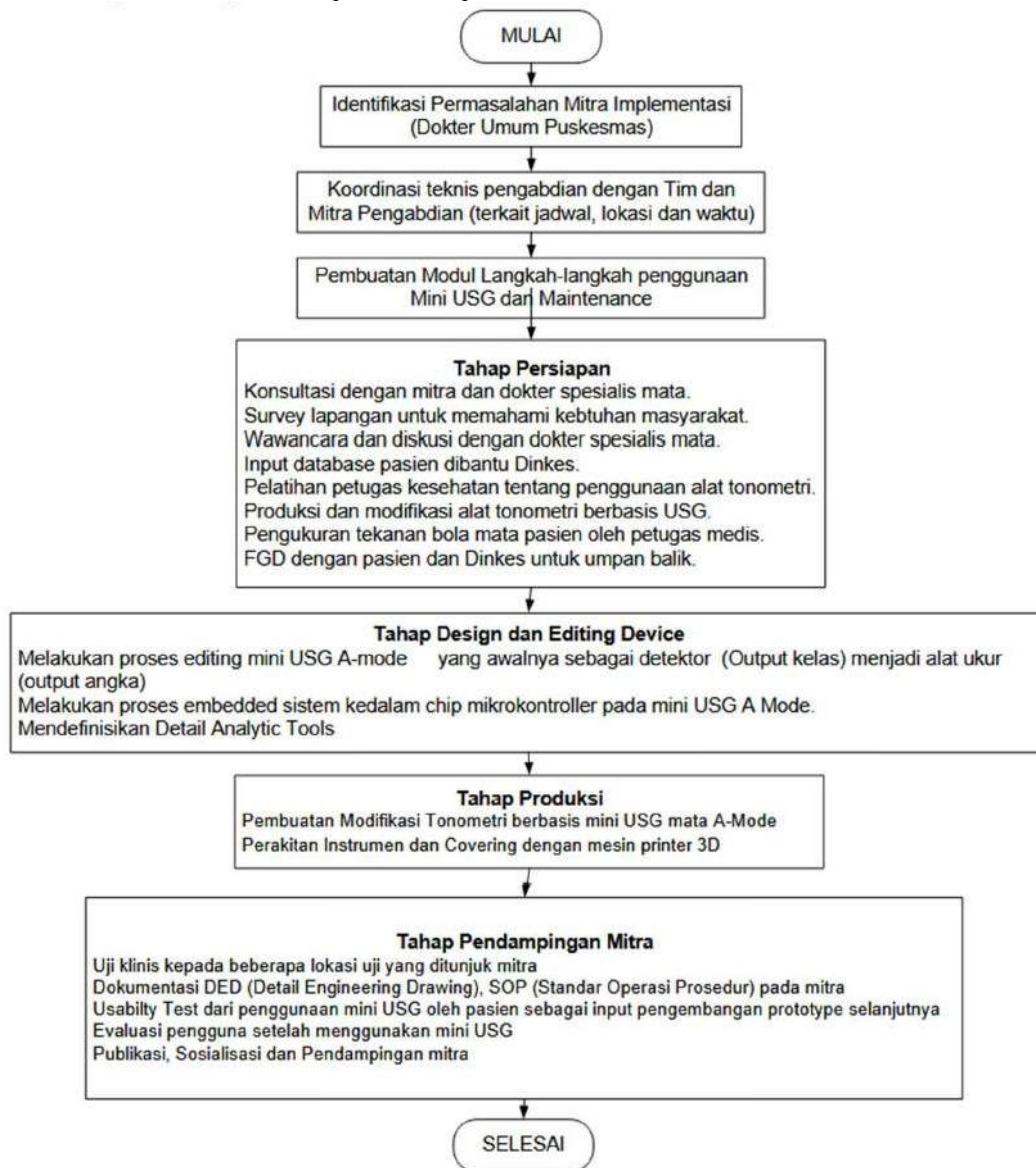
2. METODE

Strategi dan rencana untuk aktivitas PKM ini dibagi menjadi empat tahapan :

1. Persiapan:

- Berkonsultasi dengan mitra dan dokter spesialis mata.

- Melakukan survei lapangan untuk memahami kebutuhan masyarakat.
- Wawancara dan diskusi dengan dokter spesialis mata.
- Memasukkan data pasien dengan bantuan dari Dinas Kesehatan.
- Melatih petugas kesehatan tentang penggunaan alat tonometri.
- Memproduksi dan memodifikasi alat tonometri berbasis ultrasonik.
- Mengukur tekanan intraokular pasien dengan staf medis terlatih.
- Mengadakan FGD (Diskusi Kelompok Fokus) dengan pasien dan Dinas Kesehatan untuk mendapatkan umpan balik.



Gambar 1. Diagram Alur Metode Pelaksanaan Pelayanan Masyarakat

2. Desain dan Pengeditan Perangkat:

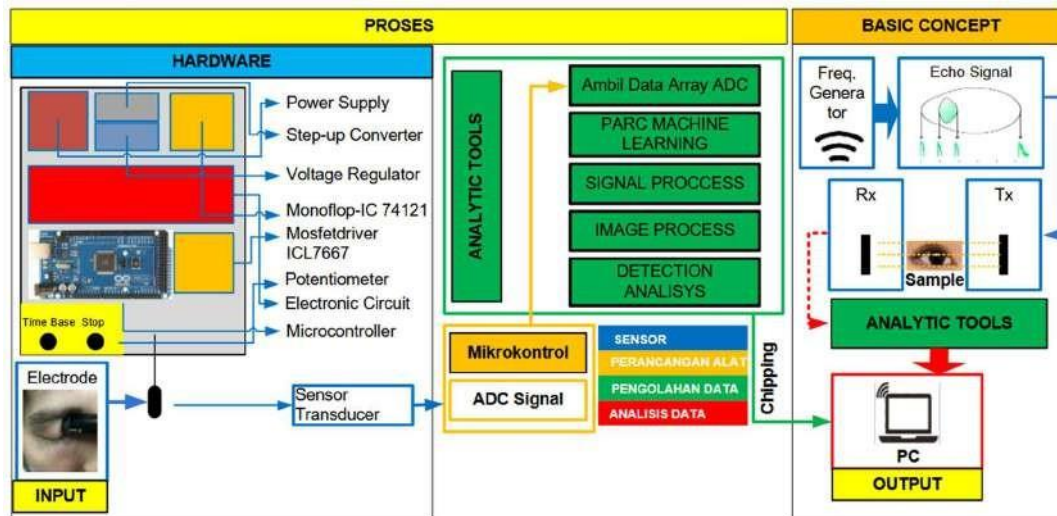
- Mengedit mini ultrasound mode A dari perangkat deteksi (output kelas) menjadi alat pengukuran (output numerik).
- Menanamkan sistem di dalam chip mikrokontroler pada mini ultrasound mode A.

- Mendefinisikan alat analitik terperinci.
3. Produksi:
- Membuat perangkat tonometri mata yang dimodifikasi berdasarkan mini ultrasound mode A.
 - Merakit instrumen dan melapisinya dengan casing yang dicetak 3D.
4. Bantuan Mitra:
- Melakukan uji klinis di lokasi yang ditentukan oleh mitra (Implementasi Teknologi).
 - Melatih petugas kesehatan dalam penggunaan dan pemeliharaan perangkat.
 - Mendokumentasikan DED (Gambar Teknik Terperinci) dan SOP (Prosedur Operasi Standar)
- untuk mitra.
- Melakukan uji kegunaan mini ultrasound dengan pasien untuk menginformasikan pengembangan prototipe.
 - Memberikan dukungan dan evaluasi berkelanjutan terhadap pengalaman pengguna dengan mini ultrasound.
 - Menerbitkan, bersosialisasi, dan mendukung mitra melalui kegiatan penjangkauan.

Untuk mendukung metode implementasi, bagan alur yang menggambarkan tahapan metodologi pelayanan masyarakat disajikan pada Gambar 1. Strategi kegiatan ini berfokus langsung pada pemeriksaan mata yang dilakukan oleh dokter umum di Puskesmas dan pengembangan sistem IoT untuk pembuatan dataset otomatis dan pemetaan prevalensi penyakit mata di Semarang. Selain itu, sistem ini memungkinkan prediksi kerentanan kesehatan berdasarkan pemeriksaan penyakit mata. Pendekatan ini menciptakan kebutuhan berkelanjutan akan suku cadang, perawatan berkelanjutan, dan dukungan terus-menerus bahkan setelah proyek pengabdian masyarakat berakhir.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian pengembangan teknologi dan ilmu pengetahuan (IPTEKS) oleh tim pengabdian masyarakat bekerja sama dengan Dinas Kesehatan Semarang mengevaluasi setiap tahapan pembuatan alat ultrasonografi mini untuk pemeriksaan mata, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2. Hal ini mencakup bantuan dan evaluasi selama proses pengujian dan penerapan langsung di lapangan, serta umpan balik kepuasan pengguna. Sementara itu, produk penelitian internal, yang menjadi dasar pembuatan produk pengabdian masyarakat, ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Design Hardware dan Software Tonometry Non Invasive



Gambar 3. Produk Tonometry Non Invasive

Spesifikasi produk IPTEK dari proyek layanan masyarakat ini adalah sebagai berikut:

1. Bentuk: Berbentuk kubus, kecil dan portabel (5x5x5 cm).
2. Teknologi: Teknologi ultrasonik (Transduser 5 MHz).
3. Kemampuan Non-Kontak: Diterapkan pada kelopak mata.
4. Resolusi Tinggi: Akurasi 92,5%.
5. Kemudahan Penggunaan: Tidak diperlukan persiapan sampel awal.
6. Konektivitas: Berbasis IoT, terhubung ke server untuk pemrosesan data.
7. Catu Daya Portabel: Konektor langsung ke sumber daya AC.
8. Dukungan Kecerdasan Buatan: Model pembelajaran mendalam terintegrasi ke dalam cloud untuk memungkinkan analisis pembelajaran federasi di berbagai pusat layanan kesehatan.

Sebelum mengukur tekanan intraokular, responden diberi kesempatan untuk melengkapi riwayat medis untuk mencegah kejadian yang tidak diinginkan. Peserta menerima kit tes glukosa darah dan pengukuran tekanan intraokular gratis yang disediakan oleh departemen kesehatan setempat. Untuk pemeriksaan ini, baik kit glukosa darah maupun tekanan intraokular disediakan oleh departemen kesehatan, sementara kami menerima tutorial singkat tentang penggunaan peralatan sebelum menerapkannya selama kegiatan pelayanan masyarakat. Berdasarkan data yang dikumpulkan, hasilnya adalah sebagai berikut:

1. Tekanan Darah: Selama pemeriksaan gula darah, 46 responden memiliki

tekanan darah normal, sementara 13 responden menunjukkan tekanan darah tinggi (Gambar 4).



Gambar 4. Hasil Survei Awal Tekanan Darah

2. Kadar Gula Darah: Pada pemeriksaan gula darah, 56 responden memiliki kadar gula darah normal, sedangkan 3 responden menunjukkan kadar gula darah tinggi (Gambar 5).



Gambar 5. Hasil Survei Awal Gula Darah

3. Usia Responden: Usia responden berkisar antara 16 hingga 21 tahun, lahir antara tahun 2003 dan 2005, dengan distribusi sebagai berikut: 19 individu berusia 19 tahun, 24 individu berusia 20 tahun, dan 13 individu berusia 21 tahun (Gambar 6).



Gambar 6. Informasi Usia Responden

Pada hari pertama, pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan alat tonometri referensi yang disediakan oleh mitra kami, Dinas Kesehatan Kota Semarang. Selain alat tonometri, Dinas Kesehatan juga menyediakan alat tes gula darah gratis. Foto-foto kegiatan tersebut ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Aktivitas Screening

Hasil dari hari pertama program pengabdian masyarakat (PKM) menghasilkan data kesehatan penting mengenai kadar gula darah dan tekanan intraokular.

1. Kadar Gula Darah: Dalam penilaian kadar gula darah, 47 responden ditemukan memiliki kadar gula darah normal, sedangkan 12 responden menunjukkan kadar gula darah tinggi kadar gula darah. Hasil ini berbeda secara signifikan dari data yang dikumpulkan melalui Formulir Google yang diisi oleh responden, menunjukkan bahwa mungkin ada kurangnya kejujuran dalam tanggapan mereka atau bahwa banyak yang belum pernah menjalani tes gula darah sebelumnya (Gambar 8).



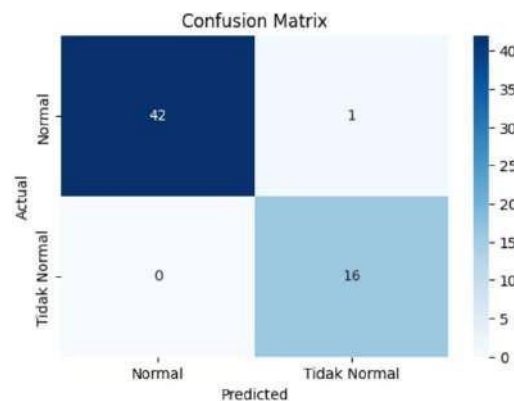
Gambar 8. Hasil Pemeriksaan Kadar Gula Darah

2. Tekanan Intraokular: Pengukuran tekanan intraokular menggunakan alat tonometri dari Departemen Kesehatan mengungkapkan bahwa 16 responden memiliki tekanan mata yang tinggi, sedangkan peserta lainnya berada dalam kisaran normal. Menariknya, di antara mereka yang memiliki kadar gula darah tinggi, beberapa responden dengan kadar gula darah normal juga menunjukkan tekanan intraokular yang tinggi. Pengamatan ini menunjukkan bahwa meskipun tekanan darah tinggi dapat memengaruhi kesehatan mata, hal itu tidak selalu menyebabkan tekanan intraokular yang tinggi (Gambar 9).



Gambar 9. Hasil Pemeriksaan Tekanan Intra okuler

Dari pengukuran yang diambil pada hari pertama dan kedua program pengabdian masyarakat (PKM), data dianalisis untuk menghitung kesalahan rata-rata instrumen tonometri Udinus dibandingkan dengan alat ukur referensi yang disediakan oleh mitra kami. Analisis tersebut mengungkapkan kesalahan rata-rata sebesar 1,7 mmHg, yang relatif rendah mengingat rentang pengukurannya adalah 50, yang berarti hanya 0,017% dari rentang pengukuran. Di antara pengukuran tonometri dari Udinus, terdapat tiga kasus di mana tonometri referensi menunjukkan tekanan normal, sementara tonometri Udinus mencatat tekanan intraokular yang meningkat. Rincian



perbedaan ini dirangkum dalam Matriks Kebingungan yang ditampilkan pada Gambar 10.

Gambar 10. Confusion Matrix

Matriks kebingungan yang dihasilkan menunjukkan perbandingan antara klasifikasi target sebenarnya dan prediksi model untuk dua kategori: "Normal" dan "Abnormal." Berikut penjelasannya:

1. Positif Sejati (Normal - Normal): Ini menunjukkan jumlah kasus di mana target sebenarnya adalah "Normal," dan model juga memprediksi "Normal." Ini berarti model berhasil mengklasifikasikan kasus-kasus ini dengan benar. Totalnya adalah 34 kasus.
2. Negatif Sejati (Abnormal - Abnormal): Ini mencerminkan jumlah kasus di mana target sebenarnya adalah "Abnormal," dan model memprediksinya sebagai "Abnormal." Model juga benar dalam klasifikasi ini, dengan total 13 kasus.
3. Positif Palsu (Diprediksi Normal, tetapi sebenarnya Abnormal): Kategori ini mencakup kasus-kasus di mana target sebenarnya adalah "Abnormal," tetapi model salah memprediksinya sebagai "Normal." Tidak ada kasus seperti ini dalam data,

sehingga menghasilkan jumlah 0.

4. Negatif Palsu (Diprediksi Abnormal, tetapi sebenarnya Normal): Kategori ini menunjukkan kasus di mana target sebenarnya adalah "Normal," tetapi model memprediksinya sebagai "Abnormal." Ada 3 kasus di mana model salah mengklasifikasikan kasus normal sebagai abnormal.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang diambil dari pengukuran yang dilakukan selama kegiatan pelayanan masyarakat (PKM) selama dua hari menunjukkan bahwa tonometer Udinus memiliki kesalahan rata-rata 1,7 mmHg dibandingkan dengan tonometer referensi dari mitra kami. Mengingat rentang data 50, tingkat kesalahan ini relatif rendah, sekitar 0,017% dari rentang pengukuran. Namun, ada tiga kasus di mana tonometer Udinus menunjukkan peningkatan tekanan intraokular (IOP), sementara tonometer referensi menunjukkan hasil normal. Menurut matriks kebingungan, model menunjukkan akurasi 94,44%, dengan presisi 100% untuk kategori "Abnormal" dan recall yang sedikit lebih rendah untuk kategori "Normal" karena adanya tiga kasus negatif palsu. Secara keseluruhan, model berkinerja baik, terutama dalam mendeteksi kasus abnormal, tetapi perbaikan lebih lanjut diperlukan untuk mengurangi kesalahan dalam memprediksi kasus normal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Udinus atas pendanaan yang diberikan untuk pengabdian masyarakat melalui program internal Udinus pada tahun 2024. Dukungan ini sangat berharga dalam memfasilitasi upaya kami untuk meningkatkan pemeriksaan kesehatan di Semarang. Terima kasih karena telah mempercayai misi kami dan berkontribusi untuk kemajuan masyarakat kami.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Bastawrous and M. J. Burton, "Artificial intelligence and digital health in global eye health," *Lancet Glob. Health*, vol. 11, no. 9, pp. e1345–e1353, 2023, doi: 10.1016/S2214-109X(23)00323-6.
- [2] R. K. Sharma, V. Venkatesh, and N. Gupta, "Determinants of health care technology adoption using integrated UTAUT and task-technology fit model," *J. Med. Internet Res.*, vol. 27, Art. no. e64524, 2025, doi: 10.2196/64524.
- [3] M. A. Haque, T. K. Das, and R. K. Gupta, "The relationship between intraocular pressure and glaucoma progression: A clinical review," *Surv. Ophthalmol.*, vol. 69, no. 1, pp. 85–102, 2024, doi: 10.1016/j.survophthal.2023.08.004.
- [4] K. S. Brunell, "Ophthalmic ultrasonography," *J. Diagnostic Med. Sonography*, vol. 30, no. 3, pp. 136–142, 2014, doi: 10.1177/8756479314531333.
- [5] A. H. Edo, Y. Harada, and Y. Kiuchi, "Usefulness of B-scan ocular ultrasound images for diagnosis of optic perineuritis," *Am. J. Ophthalmol. Case Rep.*, vol. 12, pp. 45–48, 2018, doi: 10.1016/j.ajoc.2018.08.007.
- [6] P. R. Engelbert and J. K. Palma, "Petroleum jelly: A novel medium for ocular ultrasound," *J. Emergency Med.*, vol. 49, no. 2, pp. 172–174, 2015, doi: 10.1016/j.jemermed.2015.03.003.
- [7] I. J. T. Herraets et al., "Nerve ultrasound improves detection of treatment-

- responsive chronic inflammatory neuropathies,” *Neurology*, vol. 94, no. 14, pp. E1470–E1479, 2020, doi: 10.1212/WNL.0000000000008978.
- [8] M. Monteagudo, C. Doménech, and T. Segura, “Terson syndrome and ocular ultrasound,” *Neurología (English Edition)*, vol. 30, no. 2, pp. 132–133, 2015, doi: 10.1016/j.nrleng.2013.10.006.
- [9] Y. Li, H. Zhang, X. Wang, and J. Chen, “Transpalpebral intraocular pressure measurement compared with Goldmann applanation tonometry,” *Int. J. Ophthalmol.*, vol. 16, no. 3, pp. 412–418, 2023, doi: 10.18240/ijo.2023.03.07.
- [10] S. Munkwitz, P. Hoffmann, and M. Weber, “Comparison of intraocular pressure measurements using Goldmann applanation, iCare rebound, and Tono-Pen tonometry,” *J. Clin. Med.*, vol. 14, no. 10, Art. no. 3338, 2025, doi: 10.3390/jcm14103338.
- [11] C. J. Pavlin, K. Harasiewicz, and F. S. Foster, “Ultrasound biomicroscopy of anterior segment structures in normal and glaucomatous eyes,” *Am. J. Ophthalmol.*, vol. 113, no. 4, pp. 381–389, 1992, doi: 10.1016/S0002-9394(14)76159-8.
- [12] C. Rousou, C. C. L. Schuurmans, A. Urtti, E. Mastrobattista, G. Storm, C. Moonen, K. Kaarniranta, and R. Deckers, “Ultrasound and microbubbles for the treatment of ocular diseases: From preclinical research towards clinical application,” *Pharmaceutics*, vol. 13, no. 11, Art. no. 1782, Oct. 2021, doi: 10.3390/pharmaceutics13111782.
- [13] S. A. Wulandari, W. A. Prasetyanto, et al., “Rancang bangun instrumen USG mini untuk pra-diagnosis glaukoma berbasis image processing,” *J. SIMETRIS*, vol. 14, no. 2, pp. 1–10, 2023.
- [14] Y. Tan, H. Zhao, and J. Lin, “Multimodal-based non-contact high intraocular pressure detection using deep learning techniques,” *Sensors*, vol. 25, no. 14, Art. no. 4258, 2025, doi: 10.3390/s25144258.
- [15] L. Chen, Z. Liu, and Y. Xu, “Deep learning in glaucoma diagnosis and monitoring: A review,” *Prog. Retin. Eye Res.*, vol. 98, Art. no. 101187, 2024, doi: 10.1016/j.preteyeres.2024.101187.
- [16] J. Park, S. Lee, and D. Kim, “Artificial intelligence for predicting glaucoma progression: A systematic review,” *npj Digit. Med.*, vol. 9, Art. no. 12, 2026, doi: 10.1038/s41746-025-02321-7.