

Uroflowmeter Berbasis Sensor Load Cell Untuk Pengukuran Volume Urine Dengan Analisa Metode Regresi Linear

Michael Paskah Saroengoe
Program Studi Sarjana Teknik Biomedis
Direktorat Kampus Universitas Telkom
Purwokerto

michaelsaroengoe@student.telkomuniversity.ac.id

Irmayatul Hikmah, S.Si., M.Si
Fakultas Teknik Elektro
Purwokerto, Indonesia
irmayatulh@telkomuniversity.ac.id

Sevia Indah Purnama, S.ST., M.T.
Fakultas Teknik Elektro
Purwokerto, Indonesia
seviaindah@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Gangguan pada kelenjar prostat seperti Benign Prostatic Hyperplasia (BPH) sering kali sulit terdeteksi pada tahap awal karena minimnya gejala yang tampak. Salah satu metode non-invasif yang dapat digunakan untuk membantu mendeteksi gangguan tersebut adalah pemeriksaan uroflowmetri. Dalam penelitian ini, telah dikembangkan sistem uroflowmeter berbasis sensor Load Cell yang bertujuan untuk mengukur volume urine dan menganalisis pola aliran urine menggunakan metode regresi linear. Sistem dirancang agar dapat digunakan secara mandiri oleh pasien dengan bentuk yang portabel dan sederhana. Prototipe sistem ini diuji menggunakan cairan pengganti urine sebagai simulasi proses berkemih, baik untuk kondisi normal maupun kondisi gangguan seperti BPH. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membaca perubahan volume dengan tingkat akurasi rata-rata sebesar 99,82%, error rata-rata sebesar 0,75 gram, dan persentase error sebesar 0,34% dari 40 sampel data pengujian. Sistem juga mampu membedakan antara pola aliran normal (dengan kurva aliran simetris dan flowrate tinggi) dan pola aliran abnormal (dengan kurva tidak stabil, terputus-putus, serta flowrate rendah). Analisis data dilakukan menggunakan regresi linear untuk mengkaji hubungan antara berat yang terdeteksi oleh Load Cell dan volume cairan yang keluar. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif alat bantu diagnosis dini gangguan saluran kemih dengan biaya rendah, mudah digunakan, serta memberikan hasil yang cukup akurat untuk pemantauan kesehatan prostat secara mandiri.

Kata kunci— Benign Prostatic Hyperplasia, Load Cell, Regresi Linear, Uroflowmeter, Akurasi.

I. PENDAHULUAN

Kelenjar prostat adalah organ khusus pria yang rentan mengalami gangguan seperti kanker prostat dan Benign Prostatic Hyperplasia (BPH). Penyebab pasti dari kanker prostat belum diketahui, namun risikonya meningkat seiring bertambahnya usia, terutama di atas 50 tahun, serta adanya riwayat keluarga [1]. BPH sendiri diduga berkaitan dengan proses penuaan yang menyebabkan penurunan hormon testosteron, yang kemudian diubah menjadi Dihidrotestosteron (DHT) dan memicu pembesaran kelenjar prostat secara kronis [2].

Pemeriksaan uroflowmetri merupakan metode non-invasif yang digunakan untuk mengukur laju pancaran urin saat buang air kecil (ml/detik), dengan nilai normal berkisar antara 20–25 ml/detik. Uroflowmeter merekam parameter penting seperti kecepatan rata-rata aliran urin (Q_{avg}), kecepatan maksimum (Q_{max}), total volume urin (Voiding Volume), dan pola aliran urin (flow pattern), yang ditampilkan dalam bentuk grafik untuk mendeteksi

kemungkinan adanya obstruksi atau gangguan pada saluran kemih bawah [3][4][6].

Metode transduser berat seperti Load Cell kini mulai diterapkan pada alat uroflowmeter karena kemampuannya dalam mengukur berat secara presisi. Load Cell bekerja dengan mengubah tekanan menjadi sinyal listrik yang diperkuat oleh modul HX711, lalu dibaca oleh mikrokontroler. Teknologi ini memungkinkan pengukuran aliran urin secara otomatis, akurat, dan hemat biaya [5].

II. KAJIAN TEORI

A. Sistem Kemih dan Proses Micturition

Sistem kemih terdiri dari ginjal, ureter, kandung kemih, dan uretra, yang berfungsi dalam ekskresi limbah metabolik dan menjaga keseimbangan cairan tubuh. Ginjal menyaring darah dan menghasilkan urin yang disalurkan ke kandung kemih melalui ureter untuk disimpan sementara [39]. Proses buang air kecil (**miksi**) dikendalikan oleh koordinasi antara sistem saraf pusat, otonom, dan somatik. Saat kandung kemih terisi sekitar 250 ml, reseptor regang mengirim sinyal ke otak, memicu kontraksi otot detrusor dan relaksasi sfingter uretra sehingga urin dapat dikeluarkan. Gangguan dalam proses ini dapat menyebabkan inkontinensia atau retensi urin [12].

B. Kelenjar Prostat

Kelenjar prostat merupakan organ pria yang terletak di bawah kandung kemih dan mengelilingi uretra posterior. Secara anatomi, prostat terbagi dalam beberapa zona, di mana BPH biasanya terjadi di zona transisional, sedangkan kanker prostat lebih sering berkembang di zona perifer [38]. Pembesaran prostat menyebabkan penyempitan uretra, retensi urin, risiko ISK, dan pembentukan batu saluran kemih, serta meningkatkan tekanan intravesika yang memaksa kandung kemih berkontraksi lebih kuat [14]. Penyebab pasti BPH belum diketahui, namun diduga berkaitan dengan peningkatan DHT, ketidakseimbangan hormon, serta proses seluler seperti stem cell dan apoptosis [40].

C. Uroflowmeter

Uroflowmetri (UF) adalah metode non-invasif yang digunakan untuk mengukur laju aliran urin, sangat berguna dalam evaluasi pasien BPH (benign prostatic obstruction/BPO) [37]. Alat ini menggunakan metode transduser berat dan memberikan data berupa grafik aliran urin terhadap waktu, laju aliran maksimum (Q_{max}), volume

berkemih (Vvoid), serta volume residu pasca-berkemih (PVR) [16].

D. Load Cell

Load cell adalah sensor berbasis strain gauge yang mampu mengubah gaya mekanik menjadi sinyal listrik. Sensor ini terdiri dari jembatan Wheatstone dan strain gauge yang sensitif terhadap perubahan bentuk akibat beban [22].

E. Mikrokontroler

ESP32 adalah mikrokontroler populer yang dilengkapi prosesor dual-core Xtensa LX6 hingga 240 MHz, RAM 520 KB, dan fitur konektivitas seperti Wi-Fi 802.11 b/g/n dan Bluetooth 4.2 [32]. Modul ini mendukung antarmuka komunikasi digital (GPIO, UART, SPI, I2C), ADC, dan DAC, yang sangat berguna untuk sistem pengukuran volume urin berbasis IoT [26][27].

F. Internet of Things (IoT)

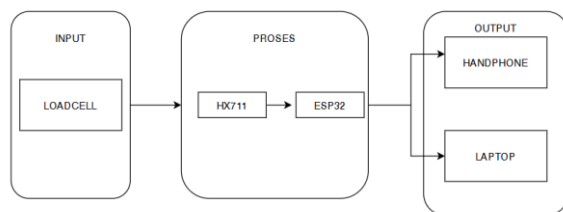
IoT merupakan jaringan perangkat yang dapat saling berkomunikasi dan bertukar data tanpa interaksi langsung manusia. Dalam dunia medis, IoT memungkinkan pemantauan pasien secara real-time dari jarak jauh, misalnya pemantauan tekanan darah dan detak jantung menggunakan sensor nirkabel [8]. Penerapan IoT dalam alat uroflowmetri memungkinkan pengiriman data volume urin secara otomatis ke perangkat pemantauan.

G. IC HX711

IC HX711 adalah ADC 24-bit dari AVIA Semiconductor yang digunakan untuk membaca sinyal dari sensor load cell secara presisi tinggi. Modul ini mengkonversi perubahan resistansi akibat gaya menjadi sinyal digital yang dapat dikomunikasikan ke mikrokontroler melalui TTL232 [30].

III. METODE

Penelitian ini dilakukan untuk merancang sistem uroflowmetri. Sistem ini terdiri dari 3 bagian utama yaitu input, proses dan output.

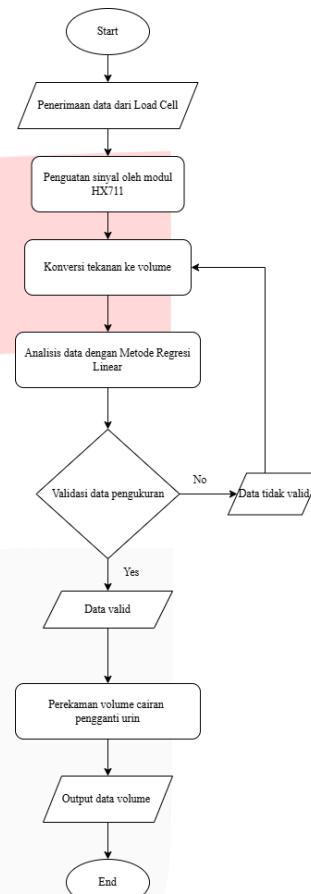


GAMBAR 1
(BLOK DIAGRAM)

1. Loadcell berfungsi sebagai sensor yang menangkap gaya beban menjadi sinyal listrik, yang dimana logam di dalam load cell akan melentur atau berubah bentuk sedikit lalu logam tersebut juga akan meregang sehingga Regangan ini mengubah
2. HX711 berfungsi sebagai penguat sinyal yang didapat dari load cell lalu mengubah sinyal analog menjadi data digital dan memberikan data resistansi listrik dalam bentuk angka digital ke mikrokontroler (ESP32)
3. ESP32 berfungsi sebagai pembaca data digital yang di dapat di HX711 lalu mengonversi berat ke volume dan

menyimpan atau mengirim data serta menganalisis pola aliran

4. Handphone digunakan sebagai tampilan hasil output melalui aplikasi blynk yang menampilkan pengukur volume secara real time yang didapat dari ESP32
5. Laptop digunakan sebagai tampilan hasil output dalam bentuk grafik di serial polter secara real time dan hasil volume di aplikasi Arduino ide

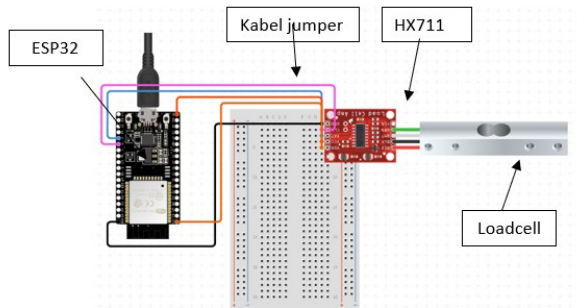


GAMBAR 2
(DIAGRAM ALIR SYSTEM)

Sistem yang dikembangkan bertujuan untuk mendeteksi dan mengukur volume aliran urin secara otomatis. Proses kerja sistem terdiri dari beberapa tahap berikut:

1. Penerimaan Data dari Load Cell Load Cell mendeteksi tekanan dari cairan urin dan mengubahnya menjadi sinyal listrik analog sesuai dengan berat cairan yang diterima.
2. Penguatan Sinyal oleh HX711 Modul HX711 memperkuat sinyal analog dari Load Cell dan mengubahnya menjadi sinyal digital agar dapat diproses oleh mikrokontroler.
3. Konversi Tekanan ke Volume Data digital dikonversi menjadi volume urin menggunakan rumus kalibrasi berdasarkan hubungan tekanan-massa-volume yang telah ditentukan sebelumnya.
4. Analisis Regresi Linear Data volume yang dihasilkan dianalisis menggunakan metode regresi linear untuk memastikan hubungan linier dan konsistensi antara tekanan dan volume.

- Validasi Data Pengukuran Data divalidasi dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap rentang nilai normal. Volume urine dianggap valid jika berada dalam rentang 0–2000 mL, dan diklasifikasikan sesuai kategori normal atau pasien BPH.
- Perekaman Volume Urin Data volume yang valid akan direkam secara otomatis dan disimpan dalam memori atau dikirim ke perangkat eksternal untuk dokumentasi.
- Output Data Volume Hasil akhir ditampilkan dalam satuan mililiter dan/atau grafik aliran urine untuk membantu analisis medis lebih lanjut.



GAMBAR.3.
(RANGKAIAN KONFIGURASI ALAT)

Pada gambar, sistem terdiri dari tiga komponen utama yang saling terhubung:

- Load Cell berfungsi sebagai sensor utama untuk mendeteksi tekanan atau berat dari cairan urine.
- Modul HX711 digunakan untuk memperkuat sinyal analog dari Load Cell dan mengubahnya menjadi sinyal digital agar bisa dibaca oleh mikrokontroler.
- ESP32 mikrokontroler yang menerima data digital dari HX711 untuk diproses lebih lanjut, seperti konversi ke volume dan pengiriman data ke antarmuka pengguna.

Komponen-komponen ini terhubung menggunakan kabel jumper dan ditata rapi di atas breadboard untuk memudahkan pengujian dan pengembangan sistem. Konfigurasi ini mencerminkan desain sistem yang sederhana namun efektif, cocok untuk aplikasi portabel seperti alat uroflowmeter digital yang hemat biaya namun tetap akurat.

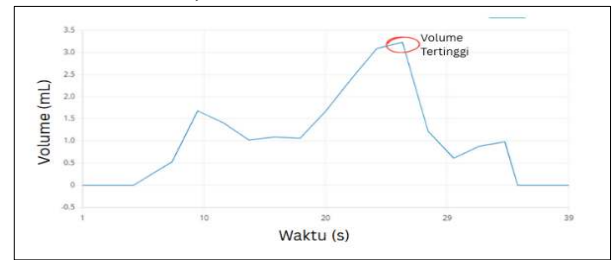
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem *uroflowmeter* berbasis sensor Load Cell guna mengukur volume urin dan menganalisis pola alirannya dengan metode regresi linear. Pembahasan hasil eksperimen mencakup lima bagian utama: pengujian akurasi, analisis regresi linear, penerapan filter MAV, klasifikasi pola aliran urin, dan pengujian volume normal serta gangguan.

A. Pengujian Akurasi Pembacaan Load Cell

Untuk mengevaluasi performa sensor, dilakukan 40 kali pengujian menggunakan beban standar (100 g, 200 g, 300 g, dan 500 g). Dari hasil tersebut diperoleh:

- Rata-rata error: 0,75 gram
- Rata-rata persentase error: 0,34%
- Akurasi: 99,66%



GAMBAR 4
(GRAFIK PERHITUNGAN REGRESI LINEAR)

Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa kalibrasi dan algoritma pengolahan data sensor telah bekerja secara presisi dan konsisten. Kesalahan pengukuran berada dalam batas toleransi yang sangat rendah, menjadikan sensor layak digunakan untuk aplikasi medis seperti pemantauan aliran urin.

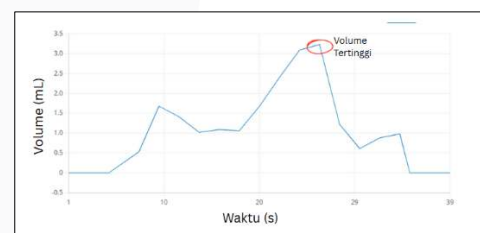
B. Analisis Regresi Linear

Regresi linear digunakan untuk memodelkan hubungan antara data berat (dari Load Cell) sebagai variabel bebas (X), dan volume urin sebagai variabel terikat (Y). Hasil analisis diperoleh:

- Slope (m): 1,000028
- Intercept (b): 0,0356

TABEL 1
(HASIL PERHITUNGAN RATA-RATA DAN JUMLAH REGRESI LINEAR)

Slope (m)	Intercept (b)	Rata-rata x	Rata-rata y	Jumlah total x	Jumlah total y
1,000028141	0,03595158	330,5795918	330,6244898	16198,4	16200,6



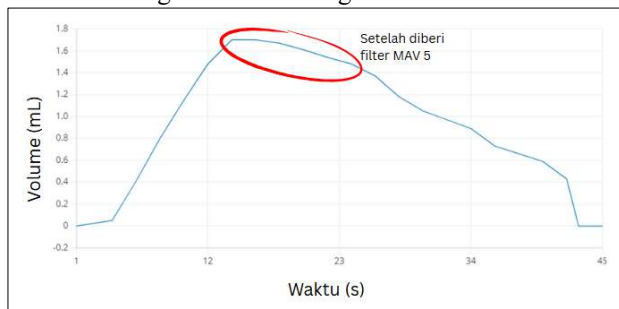
GAMBAR 5
(GRAFIK PERHITUNGAN REGRESI LINEAR)

Nilai slope yang sangat mendekati satu menandakan bahwa perubahan berat secara proporsional berkorelasi dengan volume, sedangkan intercept yang mendekati nol menunjukkan bahwa sistem hampir tidak mengalami deviasi saat X mendekati nol. Dengan demikian, model regresi yang digunakan sangat akurat untuk konversi berat menjadi volume.

C. Penerapan Moving Average Filter (MAV)

Untuk mengurangi gangguan (noise) pada sinyal, diterapkan metode Moving Average Filter (MAV) dengan window size 5. Filter ini efektif dalam:

- Menyaring fluktuasi ekstrem,
- Menyajikan tren pertambahan volume yang lebih halus,
- Meningkatkan kualitas grafik aliran urin.



Gambar 6 Grafik Perhitungan MAV

Tabel 2 Keterangan Simulasi MAV

Waktu (s)	Volume Range (mL)	Keterangan
15 s	188 – 281 mL	Fluktuasi awal
20 s	303 – 354 mL	Mulai meningkat
25 s	404 – 482 mL	Volume lebih stabil & tinggi

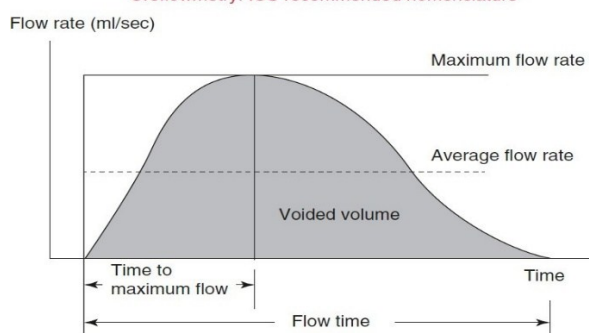
Hasil MAV menunjukkan pertumbuhan volume dari awal (212 mL) hingga akhir (± 445 mL) secara bertahap dan stabil, yang mencerminkan dinamika miksi dengan lebih realistis.

D. Klasifikasi Pola Aliran Urin

Klasifikasi pola aliran urine merupakan bagian penting dalam analisis sistem uroflowmeter, karena dari pola inilah dapat diinterpretasikan apakah fungsi saluran kemih berjalan normal atau mengalami gangguan. Dalam penelitian ini, sistem yang dikembangkan tidak hanya mengukur volume urine, tetapi juga merekam dinamika aliran urine dalam bentuk grafik yang merepresentasikan hubungan antara flowrate (mL/detik) terhadap waktu (detik). Visualisasi ini kemudian dibandingkan dengan standar kurva yang telah direkomendasikan oleh International Continence Society (ICS).

Untuk membedakan berbagai kondisi, sistem diuji menggunakan data simulasi urine dari tiga kelompok kondisi: pola normal, pola gangguan ringan (BPH awal), dan pola gangguan berat (BPH kronis atau komplikasi lain). Hasil pengukuran tidak hanya menyajikan data volume total, tetapi juga pola grafik yang menjadi acuan untuk klasifikasi.

Uroflowmetry: ICS recommended nomenclature



GAMBAR 7

(TERMINOLOGI KURVA NORMAL BERDASARKAN ICS [33])

a. Pola Aliran Urine Normal

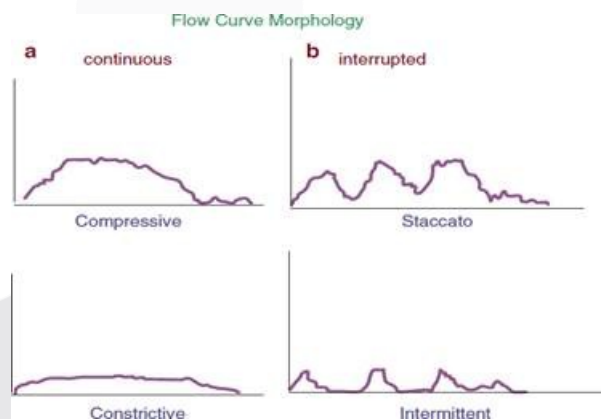
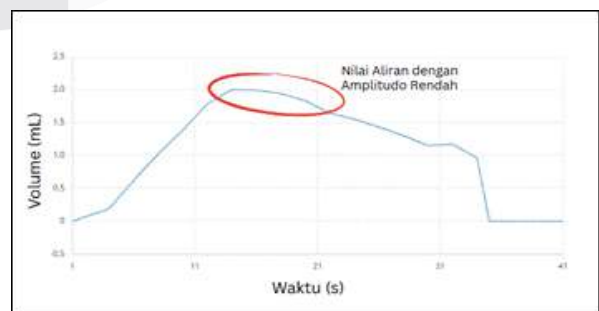
Pada kondisi normal, kurva aliran menunjukkan bentuk simetris menyerupai lonceng (bell-shaped curve). Aliran dimulai perlahan, kemudian meningkat secara tajam hingga mencapai Qmax (laju aliran maksimum), dan menurun perlahan kembali hingga nol. Pola ini menunjukkan bahwa:

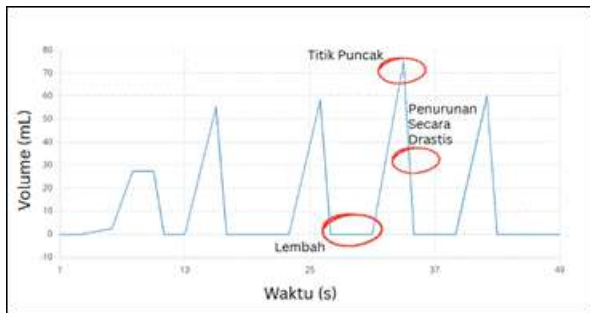
- Kandung kemih mampu berkontraksi dengan baik.
- Sfingter uretra berelaksasi tepat waktu.
- Tidak ada hambatan pada saluran kemih bagian bawah.
- Proses miksi berlangsung efisien dan tanpa gangguan.

Kurva seperti ini menjadi indikasi dari fungsi saluran kemih yang sehat. Nilai Qavg (rata-rata flowrate) dan waktu miksi (voiding time) juga sesuai standar normal, yakni 15–30 detik tergantung volume.

b. Pola Gangguan: Benign Prostatic Hyperplasia (BPH)

Pola aliran urine pada pasien atau simulasi dengan gangguan seperti BPH sangat beragam, tergantung pada tingkat obstruksi dan respon kandung kemih terhadap resistensi.

GAMBAR 8
(GRAFIK POLA FLAT (DATAR))GAMBAR 9
(POLA ALIRAN BPH [33])GAMBAR 10
(GRAFIK URIN POLA PLATEAU SHAVE CURVE)



GAMBAR 11
(GRAFIK URIN POLA STACCATO)

Beberapa pola khas yang teridentifikasi antara lain:

- *Flat/Plateau Curve*: Pola ini menunjukkan aliran yang datar dan konstan dengan flowrate rendah. Biasanya muncul pada penderita BPH kronis di mana aliran tidak pernah mencapai puncak optimal karena adanya penyempitan uretra yang menetap. Ini menandakan adanya hambatan kronis yang membuat kontraksi detrusor tidak cukup untuk menghasilkan aliran cepat.
- *Staccato Curve*: Ditandai dengan puncak-puncak tajam dan penurunan mendadak secara berulang. Pola ini menunjukkan adanya aktivitas sfingter yang tidak sinkron dengan kontraksi kandung kemih, sering kali dijumpai pada pasien dengan *dysfunctional voiding* atau gangguan koordinasi antara detrusor dan sfingter uretra. Hasilnya adalah aliran urine yang terputus-putus, tidak lancar, dan disertai fluktuasi tajam.
- *Interrupted/Fractionated Curve*: Pola ini dicirikan dengan kurva yang terputus-putus, di mana aliran hanya muncul dalam beberapa fase pendek, dipisahkan oleh segmen tanpa aliran. Umumnya terjadi ketika detrusor tidak mampu mempertahankan kontraksi secara konsisten, dan pasien harus mengejan agar aliran dapat keluar. Hal ini mencerminkan *hipokontraktilitas detrusor*, kelemahan otot kandung kemih, atau obstruksi berat.
- *Tower/Tall Peak Curve*: Kurva ini memiliki lonjakan yang sangat tajam dan tinggi dalam waktu yang sangat singkat, sering dijumpai pada kondisi *overactive bladder (OAB)*. Pola ini juga bisa muncul sebagai kompensasi kandung kemih terhadap resistensi kronik, di mana kontraksi detrusor menjadi terlalu kuat dan mendadak.

c. Interpretasi Klinis

Setiap pola yang dihasilkan oleh sistem membawa makna klinis yang spesifik. Dengan memvisualisasikan dan membandingkan kurva aliran dari data pasien atau simulasi, sistem ini mampu:

- Membedakan kondisi normal dan patologis.
- Mengidentifikasi kemungkinan adanya obstruksi uretra akibat pembesaran prostat.
- Mengungkap disfungsi kandung kemih, baik karena kontraksi tidak optimal maupun aktivitas sfingter yang tidak terkoordinasi.

- Menjadi dasar untuk melakukan evaluasi lanjutan secara urodinamik.

Dengan demikian, klasifikasi pola aliran urine dalam sistem ini bukan sekadar visualisasi, tetapi merupakan elemen diagnostik yang kuat. Dalam konteks penggunaan portabel atau rumahan, fitur ini dapat membantu pasien maupun tenaga medis dalam melakukan pemantauan dini terhadap kesehatan saluran kemih, khususnya pada pria lanjut usia dengan risiko BPH.

- Pola BPH Ringan hingga Berat:
 - Flat/Plateau: Aliran lambat dan datar akibat obstruksi uretra ringan.
 - Staccato: Kurva bergelombang dengan fluktuasi tajam, menandakan kontraksi sfingter uretra yang tidak sinkron.
 - Interrupted/Fractionated: Aliran terputus putus akibat kelemahan otot detrusor atau kebutuhan mengejan berlebih untuk miksi.

Grafik aliran yang dihasilkan menunjukkan kemampuan alat dalam memvisualisasikan dinamika aliran urin sesuai klasifikasi klinis standar dari International Continence Society (ICS).

D. Hasil Pengujian dan Klasifikasi

Untuk memahami pola aliran urine dan kondisi fungsi saluran kemih, dilakukan pengukuran pada tiga kategori: normal, BPH ringan, dan BPH akut. Pengukuran menggunakan sensor Load Cell untuk merekam volume urine secara real-time, lalu diolah menjadi volume total, rata-rata, dan ditampilkan dalam bentuk grafik aliran. Pengujian dilakukan dalam tiga percobaan, terdiri dari 10 sampel normal dan 5 sampel gangguan, dengan analisis berdasarkan waktu miksi, volume total, dan bentuk kurva aliran. Data ini diklasifikasikan sesuai standar klinis urologi, sehingga dapat menunjukkan perbedaan karakteristik aliran urine pada tiap kondisi. Hasil pengukuran ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik untuk masing-masing kategori, serta menunjukkan potensi sistem sebagai alat bantu diagnosis gangguan saluran kemih.

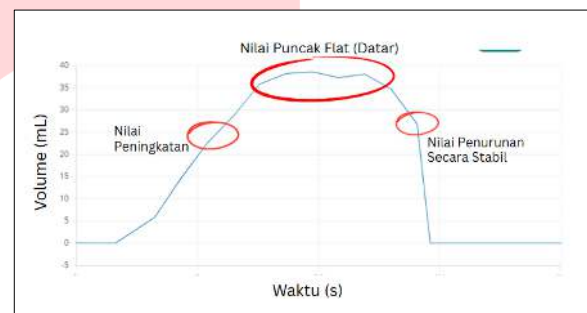
TABEL 3
(HASIL UJI VOLUME DAN WAKTU URINE NORMAL)

Volume dan Waktu Urine Normal					
Percobaan	Volume Percobaan (mL)	Waktu (s)	Volume Loadcell (mL)	Rata-rata Volume	Keterangan
1	200 mL	15 s	189,11 mL	127,87 mL	Normal
	200 mL	15 s	221,46 mL	141,24 mL	Normal
	200 mL	15 s	215,23 mL	126,91 mL	Normal
	200 mL	15 s	251,68 mL	150,93 mL	Normal
	200 mL	15 s	294,08 mL	199,06 mL	Normal

Volume dan Waktu Urine Normal					
Perco baan	Volu me Percoba an (mL)	Wa ktu (s)	Volu me Loadcel l (mL)	Rat a-rata Volum e	Ketera ngan
	200 mL	15 s	226, 57 mL	168 ,02 mL	Norma l
	200 mL	15 s	189, 68 mL	129 ,76 mL	Norma l
	200 mL	15 s	165, 39 mL	164 ,63 mL	Norma l
	200 mL	15 s	295, 24 mL	222 ,90 mL	Norma l
	200 mL	15 s	245, 51 mL	162 ,10 mL	Norma l
2	300 mL	20 s	336, 99 mL	212 ,10 mL	Norma l
	300 mL	20 s	322, 08 mL	191 ,17 mL	Norma l
	300 mL	20 s	381, 16 mL	260 ,32 mL	Norma l
	300 mL	20 s	359, 60 mL	263 ,18 mL	Norma l
	300 mL	20 s	346, 64 mL	181 ,13 mL	Norma l
	300 mL	20 s	359, 93 mL	220 ,46 mL	Norma l
	300 mL	20 s	371, 86 mL	210 ,92 mL	Norma l
	300 mL	20 s	355, 23 mL	213 ,06 mL	Norma l
	300 mL	20 s	350, 59 mL	235 ,15 mL	Norma l
	300 mL	20 s	310, 97 mL	206 ,76 mL	Norma l
3	400 mL	25 s	425, 20 mL	260 ,29 mL	Norma l
	400 mL	25 s	423, 29 mL	273 ,10 mL	Norma l
	400 mL	25 s	442, 25 mL	258 ,66 mL	Norma l
	400 mL	25 s	444, 68 mL	289 ,59 mL	Norma l
	400 mL	25 s	481, 37 mL	306 ,16 mL	Norma l
	400 mL	25 s	413, 05 mL	237 ,63 mL	Norma l
	400 mL	25 s	453, 62 mL	291 ,81 mL	Norma l
	400 mL	25 s	444, 71 mL	245 ,83 mL	Norma l
	400 mL	25 s	488, 98 mL	343 ,01 mL	Norma l

Volume dan Waktu Urine Normal					
Perco baan	Volu me Percoba an (mL)	Wa ktu (s)	Volu me Loadcel l (mL)	Rat a-rata Volum e	Ketera ngan
	400 mL	25 s	440, 32 mL	356 ,64 mL	Norma l

Pada Tabel 4.3 Volume urine normal tercatat mulai dari 200 mL hingga 400 mL. Seluruh pengukuran memenuhi syarat volume klinis minimal (≥ 150 mL), dan sebagian besar berada dalam rentang optimal (200–400 mL), dengan Waktu berkemih berkisar antara 15–25 detik untuk volume 200–400 mL, yang sangat ideal sesuai parameter klinis (15–30 detik), dan Rata-rata volume per detik berkisar dari ± 120 –340 mL/25 s = ± 4.8 –13.6 mL/s, dengan nilai tertinggi mencapai lebih dari 15 mL/s. Sesuai dengan nilai normal (10–15 mL/s), bahkan beberapa mendekati atau melebihi.



GAMBAR 12
(GRAFIK VOLUME URIN NORMAL)

Grafik tersebut menunjukkan pola simetris yang khas menyerupai kurva lonceng (*bell-shaped*). Aliran urine meningkat secara bertahap hingga mencapai puncaknya, kemudian menurun kembali dengan pola yang mulus. Ini merupakan indikator klinis dari fungsi berkemih yang normal dan tidak terdapat obstruksi pada saluran kemih. Kenaikan volume aliran terjadi secara kontinu dan progresif, tanpa jeda atau fluktuasi drastis. Penurunan setelah mencapai puncak juga terjadi secara perlahan dan stabil, mencerminkan kontrol otot detrusor yang baik dan pengosongan kandung kemih yang efisien.

Tidak ditemukan bagian dari grafik yang kembali ke nol secara tiba-tiba selama fase aliran. Menunjukkan bahwa tidak terjadi intermittent flow atau penghentian aliran secara mendadak, suatu karakteristik penting dari uroflowmetry yang sehat. Rentang waktu grafik mencerminkan waktu berkemih yang tidak terlalu lama, mendukung asumsi bahwa kandung kemih dapat dikosongkan dengan baik tanpa hambatan. Ini juga sesuai dengan waktu miksi normal yaitu antara 15–30 detik, tergantung volume urin.

TABEL 4
(HASIL UJI VOLUME URINE MENGALAMI GANGUAN)

Volume dan Waktu Urine Yang Mengalami gangguan				
Percobaan	Volume Percobaan (mL)	Waktu (s)	Volume Loadcell	Rata-rata Volume
1	20 mL	30 s	19,41 mL	10,58 mL
	20 mL	30 s	19,57 mL	11,58 mL
	20 mL	30 s	19,82 mL	15,78 mL
	20 mL	30 s	20,04 mL	15,16 mL
	20 mL	30 s	19,19 mL	14,15 mL
	20 mL	30 s	19,19 mL	14,15 mL
2	30 mL	30 s	28,71 mL	11,02 mL
	30 mL	30 s	29,15 mL	15,55 mL
	30 mL	30 s	29,54 mL	15,36 mL
	30 mL	30 s	28,70 mL	17,32 mL
	30 mL	30 s	29,87 mL	20,69 mL
	30 mL	30 s	29,87 mL	20,69 mL
3	35 mL	30 s	34,57 mL	18,06 mL
	35 mL	30 s	35,10 mL	15,08 mL
	35 mL	30 s	34,69 mL	21,20 mL
	35 mL	30 s	34,55 mL	22,15 mL
	35 mL	30 s	34,66 mL	23,56 mL
	35 mL	30 s	34,66 mL	23,56 mL
4	40 mL	40 s	39,54 mL	27,77 mL
	40 mL	40 s	39,56 mL	25,86 mL
	40 mL	40 s	40,14 mL	28,58 mL
	40 mL	40 s	40,71 mL	30,00 mL
	40 mL	40 s	40,28 mL	30,27 mL
	40 mL	40 s	40,28 mL	30,27 mL
5	>50 mL	40 s	50,41 mL	34,68 mL
	>50 mL	40 s	49,31 mL	29,62 mL
	>50 mL	40 s	49,96 mL	29,01 mL
	>50 mL	40 s	49,90 mL	22,58 mL

Volume dan Waktu Urine Yang Mengalami gangguan				
Percobaan	Volume Percobaan (mL)	Waktu (s)	Volume Loadcell	Rata-rata Volume
	>50 mL	40 s	49,17 mL	31,64 mL
6	50 mL	30 s	52,28 mL	27,83 mL
	50 mL	30 s	53,23 mL	30,66 mL
	50 mL	30 s	51,94 mL	32,54 mL
	50 mL	30 s	51,40 mL	29,25 mL
	50 mL	30 s	50,70 mL	32,73 mL
	50 mL	30 s	50,70 mL	32,73 mL
7	75 mL	30 s	74,27 mL	38,81 mL
	75 mL	30 s	75,72 mL	47,65 mL
	75 mL	30 s	76,48 mL	45,30 mL
	75 mL	30 s	75,94 mL	42,32 mL
	75 mL	30 s	75,13 mL	41,43 mL
	75 mL	30 s	75,13 mL	41,43 mL
8	100 mL	30 s	102,56 mL	46,71 mL
	100 mL	30 s	101,24 mL	52,78 mL
	100 mL	30 s	100,07 mL	54,75 mL
	100 mL	30 s	100,13 mL	60,61 mL
	100 mL	30 s	99,59 mL	60,61 mL
	100 mL	30 s	99,59 mL	60,61 mL
9	150 mL	40 s	149,80 mL	80,89 mL
	150 mL	40 s	150,16 mL	87,00 mL
	150 mL	40 s	150,00 mL	96,06 mL
	150 mL	40 s	149,99 mL	87,69 mL
	150 mL	40 s	149,89 mL	91,33 mL
	150 mL	40 s	149,89 mL	91,33 mL
10	>200 mL	40 s	199,57 mL	115,53 mL
	>200 mL	40 s	199,28 mL	125,80 mL
	>200 mL	40 s	200,37 mL	131,13 mL

Volume dan Waktu Urine Yang Mengalami gangguan				
Percobaan	Volume Percobaan (mL)	Waktu (s)	Volume Loadcell	Rata-rata Volume
	>200 mL	40 s	199,36 mL	142,44 mL
	>200 mL	40 s	199,15 mL	141,37 mL

Tabel 4 menyajikan hasil pengujian sistem uroflowmeter berbasis Load Cell terhadap pola aliran urine dengan gangguan. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan dengan variasi volume input (20–>200 mL) dan waktu tetap (30–40 detik), masing-masing dilakukan lima kali pengukuran.

Pada percobaan 1–2 (volume kecil 20–30 mL), hasil menunjukkan volume terbaca cukup akurat, namun flowrate per detik tergolong rendah (± 10 –15 mL/s), mengindikasikan kemungkinan adanya gangguan aliran atau tekanan awal yang kurang memadai.

Percobaan 3–4 (35–40 mL) menunjukkan peningkatan flowrate (± 20 –28 mL/s) dan akurasi pembacaan yang lebih baik, menandakan bahwa sistem bekerja lebih stabil pada volume sedang.

Pada percobaan 5–6 (>50 mL), flowrate bervariasi pada percobaan ke-5, namun menjadi lebih konsisten pada percobaan ke-6, menunjukkan adanya perbaikan kestabilan pembacaan saat volume meningkat.

Percobaan 7–10 (75–>200 mL) menunjukkan performa sistem yang optimal, dengan volume yang terbaca hampir identik dengan input dan flowrate meningkat hingga mencapai >140 mL/s. Ini mengindikasikan bahwa sistem paling stabil digunakan pada volume besar.

Secara keseluruhan, sistem memiliki akurasi yang baik dalam membaca volume, namun indikasi gangguan aliran lebih terlihat pada volume kecil, disebabkan oleh tekanan rendah atau ketidakstabilan sensor. Grafik yang dihasilkan tidak selalu membentuk pola bell-shaped normal; aliran sering kali terputus-putus, naik turun tajam, dan menunjukkan pola intermittency atau obstruksi berat, yang umum terjadi pada penderita BPH atau gangguan detrusor.

Dengan demikian, sistem ini efektif dalam mendeteksi pola aliran abnormal, terutama saat digunakan untuk volume sedang hingga besar, dan dapat menjadi alat bantu diagnosis gangguan saluran kemih.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, sistem uroflowmeter berbasis sensor load cell yang dirancang telah terbukti. Untuk memahami pola aliran urine dan fungsi saluran kemih, dilakukan pengukuran pada tiga kategori: normal, BPH ringan, dan BPH akut menggunakan sensor Load Cell. Data direkam secara real-time, lalu diolah menjadi volume total, rata-rata, dan grafik aliran.

Pengujian melibatkan 10 sampel normal dan 5 sampel gangguan, dianalisis berdasarkan waktu miksi, volume, dan bentuk kurva. Hasilnya diklasifikasikan sesuai standar urologi dan ditampilkan dalam tabel serta grafik,

menunjukkan potensi sistem sebagai alat bantu diagnosis gangguan saluran kemih.

REFERENSI

- [1] I. Thrifty, Prostat Spesifik Antigen, No. 1, Vol.1. Buletin Farmatera, 2016.
- [2] A. Ruspanah and J. T. Manuputty, Hubungan Usia, Obesitas dan Riwayat Penyakit Diabetes Mellitus dengan Kejadian Benign Prostate Hyperplasia (BPH) Derajat IV di RSUD Dr. M. Haulussy Ambon Periode 2012-2014, No. 1, Vol. 10, Molucca Medica, 2017, pp. 141-151.
- [3] C. Novianti, H. Sutapa, dan D. I. N. Pratiwi, Literature Review: Hubungan Hasil Pemeriksaan Uroflowmetri dengan Volume Prostat pada Pasien Benign Prostatic Hyperplasia (BPH), No. 3, Vol. 4. Homeostasis, 202, pp. 625–632.
- [4] S. D. Pandolfo, F. Crauso, A. Aveta, S. Cilio, B. Barone, L. Napolitano, et al., A novel low-cost uroflowmetry for patient telemonitoring, No.4, Vol. 20. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2023, p. 3287.
- [5] Y. W. S. Saksono, N. T. Suryadhi, and G. W. K. Duarsa, Tipe hipospadia proksimal merupakan faktor risiko pancaran urin yang lemah pada pasien hipospadia pasca uretroplasti teknik tubularized incised plate, No. 3, Vol. 48. Medicina, 2017.
- [6] A. F. Hastawan et al., Comparison of testing load cell sensor data sampling method based on the variation of time delay, No.1, Vol. 700. IOP Publishing, 2021.
- [7] S. Imam, and W. S. Pambudi, Aplikasi Load Cell untuk Otomasi pada Depot Air Minum Isi Ulang. Jurnal Sains dan Teknologi, vol. 2460, no. 173X, 2015.
- [8] R. M. Putra, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Volume Cairan Infus Menggunakan Sensor Load Cell Berbasis Internet of Things (IoT)," M.S Skripsi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta 2021.
- [9] Kusuma, Tony, dan M T. Mulis. "Perancangan Sistem Monitoring Infus Berbasis Mikrokontroler Wemos D1 R2." presented at Konferensi Nasional Sistem Informasi (KNSI), Indonesia, 2018.
- [10] R. Aditya, et al. Monitoring Cairan Infus Menggunakan Load Cell Berbasis Internet of Things (IoT). No. 1, Vol. 22, Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika, 2023, pp. 97-110.
- [11] R. I. P. Utami, S. S. Wahyudi, dan Y. Hermansyah. Hubungan Prostate Volume Dan Intravesical Prostatic Protrusion Terhadap International Prostate Symptom Score Pada Pasien Benign Prostate Hyperplasia. No.1, Vol. 6. Pustaka Kesehatan, 2018, pp. 97-101.
- [12] J. L. Flores, G. A. Cortes, & S. W. Leslie, "Physiology Urination," Treasure Island, FL: Stat Pearls Publishing, p.13, September 2023. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK562181/> [Diakses 28 November 2024, 23:59:59 WIB].
- [14] D. A. Maulana, Faktor Yang Mempengaruhi Kejadian Batu Saluran Kemih Pada Pasien Benign Prostate Hyperplasia. No. 3, Vol. 3. Jurnal Penelitian Perawat Profesional, 2021, pp. 603-616.
- [15] Pittara, "Prostatitis" Alodokter, Juni 2022. Available: <https://www.alodokter.com/prostatitis> [Diakses pada 29 November 2024, 20:34:13 WIB].

- [16] J. J. de la Rosette, et al. EAU Guidelines on benign prostatic hyperplasia (BPH), No. 3, Vol. 40. European Urology, 2001, pp. 256-263.
- [17] BM Bestmedical, "Uroflowmeter Portable and Wireless" [Diakses pada 01 November 2024, 13:40:21 WIB]
- [18] R. Rowaiee, A. Akhras, dan F. K. Janahi, Rezum Therapy, a Feasible and Safe Treatment for the Larger Prostate. Vol. 82. International Journal of Surgery Case Reports, 2021, pp. 105871.
- [19] A. A. Alrabadi, et al. Evaluation of Voiding Position on Uroflowmetry Parameters and Post Void Residual Urine in Patients with Benign Prostatic Hyperplasia and Healthy Men. No. 4, Vol. 14. American Journal of Men's Health, 2020.
- [20] P. Anindita, "Teknik Unflowmetry" Alomedika, September 2024. Available: <https://general.alomedika.com/tindakanmedis/genitourinaria/uroflowmetry/teknik> [Diakses pada 03 November 2024, 16:12:18 WIB].
- [21] K. C., Young-Wolff, et al. PTSD Symptomatology and Readiness to Quit Smoking Among Women with Serious Mental Illness. No. 8, Vol. 39, Addictive Behaviors, 2014, pp. 1231-1234.
- [22] I. Suhendra, dan W. S. Pambudi, Aplikasi Load Cell untuk Otomasi pada Depot Air Minum Isi Ulang. No. 2, Vol. 5, Jurnal Sains dan Teknologi, 2015, p. 25-35.
- [23] K. Anggara, F. Hadi, dan J. Haidi, Pengembangan Sistem Monitoring Inkubator Bayi Prematur Secara Real Time Menggunakan Android. No.2 Vol. 10, JURNAL AMPLIFIER: Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Elektro Dan Komputer, 2020, pp. 1-8.
- [24] Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, "Mengapa Kalibrasi Load Cell Penting dan Cara Melakukannya untuk Keakuratan Maksimal" bblm, Agustus 2024, Available: <https://www.bblm.go.id/mengapa-kalibrasi-load-cell-penting-dan-cara-melakukannya-untuk-keakuratan-maksimal/> [Diakses pada 29 November 2024, 20:50:40 WIB].
- [25] Tina, "Bagaimana Sensor Load Cell Dapat Meningkatkan Akurasi Pengukuran?" fibossensor, Oktober 2024, Available: <https://www.fibossensor.com/id/how-can-load-cell-sensors-improve-measurement-accuracy.html> [Diakses pada 04 November 2024, 07:50:21 WIB]
- [26] S. Tundo, K. Setiawan, dan R. F. Aula, Penerapan IoT dengan Algoritma Fuzzy dan Mikrokontroler ESP32 dalam Monitoring Penyiraman. No. 3, Vol. 5. Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika dan Komunikasi, 2024, pp. 2915-2924.
- [27] R. R. Hidayah, S. Nurcahyo, dan D. Dewatama, Implementasi Pengaturan Suhu Menggunakan Mikrokontroler ESP32. No. 3, Vol. 3. Metrotech (Journal of Mechanical and Electrical Technology), 2024, pp. 106-115.
- [28] Binus University, "ESP32" Himpunan Mahasiswa Teknik Komputer, Juli 2022, Available: <https://student-activity.binus.ac.id/himtek/2022/07/27/esp32/> [diakses pada 04 November 2024, 09:24:31 WIB]
- [29].VISINIAGA, "Internet of Things," Available: <https://www.visiniaga.com/blog/our-blog-1/internet-of-things-54> [Diakses pada 06 November 2024, 12:30:44 WIB]
- [30].IBM "Apa itu Regresi Linear?" Available: <https://www.ibm.com/id-id/topics/linear-regression> [Diakses pada 06 November 2024, 16:40:23 WIB]
- [31] O. J. Ababil, S. A. Wibowo, dan H. Z. Zahro, Penerapan Metode Regresi Linier Dalam Prediksi Penjualan Liquid Vape Di Toko Vapor Pandaan Berbasis Website, No. 1, Vol. 6. Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika, 2022.
- [32] H. Hanafi, H. Hanafi, and F. Irsan, "Analisis Kinerja Transmisi Data Untuk Alat monitoring Suhu Ruangan Menggunakan modul XBEE S2C," Jurnal Litek : Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika, vol. 20, no. 1, pp. 25-32, Mar. 2023. doi:10.30811/litek.v20i1.6
- [33] R. K. Wijaya et al., "The effect of standing and sitting voiding position on uroflowmetric findings and postvoiding residual volume in men with benign prostatic hyperplasia (BPH)," Indonesia Journal of Biomedical Science, vol. 15, no. 1, pp. 1-4, Dec. 2020. doi:10.15562/ijbs.v15i1.247
- [34] W. Susilo, D. Dahlia, and S. Latief, "Hubungan Antara Kejadian hematuria mikroskopis dengan volume prostat Pada Penderita benign prostatic hyperplasia (BPH)," UMI Medical Journal, vol. 2, no. 1, pp. 11-25, Nov. 2019. doi:10.33096/umj.v2i1.13
- [35] A. U. Mallik et al., "Non-invasive urodynamic study - the uroflowmetry," Bangladesh Journal of Urology, vol. 24, no. 1, pp. 105-109, Aug. 2022. doi:10.3329/bju.v24i1.59453
- [36] R. Waicang, "Pengaruh Bladder training terhadap inkontinensia Urin Pada Pasien post operasi : Literature review," Jurnal Ilmu Kesehatan Insan Sehat, vol. 10, no. 1, pp. 51-59, Jun. 2022. doi:10.54004/jikis.v10i1.62
- [37] "AUA guideline on management of benign prostatic hyperplasia (2003). Chapter 1: Diagnosis and Treatment Recommendations," Journal of Urology, vol. 170, no. 2, pp. 530-547, Aug. 2003. doi:10.1097/01.ju.0000078083.38675.79
- [38] A. F. Ruckle, A. Maulana, and T. Ghinowara, "Faktor Resiko Infeksi Saluran Kemih Pada Pasien Dengan Batu saluran kemih," Biomedika, vol. 12, no. 2, pp. 124-130, Aug. 2020. doi:10.23917/biomedika.v12i2.10812
- [39] M. Meldawati, PRAKTIKUM FISILOGI SISTEM URINARIA , vol. 1. Medan, Indonesia: Unpri Press, 2021.
- [40] S. Alghani and P. A. Sangging, "Hiperplasia Prostática benigna," Revista Ocronos, 2024. doi:10.58842/erym3136
- [41] S. Lestari, "Analisis Algoritma Regresi Linear Sederhana dalam Memprediksi Tingkat Penjualan Album KPOP," INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi, vol. 2, no. 1, pp. 199-209, 2023, doi: 10.55123/insologi.v2i1.1692
- [42] "Simple Moving Average (SMA): What It Is and the Formula," Investopedia. Accessed: Jun. 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/s/sma.asp>
- [43] A. Alrabadi, S. Al Demour, H. Mansi, S. AlHamss, and L. Al Omari, "Evaluation of voiding position on uroflowmetry parameters and post void residual urine in patients with benign prostatic hyperplasia and Healthy

Men,” American Journal of Men’s Health, vol. 14, no. 4,
Jul. 2020. doi:10.1177/1557988320938969

