

Uroflowmeter Untuk Pengukuran Kecepatan Aliran Urin Dengan Metode Regresi Linear

1st Muhammad Naufal Royan Ependi
S1 Teknik Biomedis
Univeritas Telkom Kampus Purwokerto
Purwokerto, Indonesia
nauvalroyan 15@gmail.com

2nd Irmayatul Hikmah, S.Si., M.Si
S1 Teknik Biomedis
Univeritas Telkom Kampus Purwokerto
Purwokerto, Indonesia
irmayatulh@telkomuniversity.ac.id

3rd Sevia Indah
Purnama S.ST., M.T
S1 Teknik Biomedis
Univeritas Telkom Kampus Purwokerto
Purwokerto, Indonesia
seviaindah@telkomuniversity.ac.id

Abstrak -- Uroflowmetry merupakan metode non-invasif untuk mendeteksi gangguan saluran kemih seperti Benign Prostatic Hyperplasia (BPH). Penelitian ini mengembangkan sistem uroflowmeter berbasis sensor Load Cell yang menggunakan metode regresi linear untuk mengukur kecepatan aliran urin secara akurat. Sistem terdiri dari ESP32, HX711, dan Load Cell sebagai sensor massa, yang dikalibrasi dan diuji menggunakan cairan simulasi urin. Moving Average digunakan untuk menghaluskan grafik flowrate, sedangkan data hasil pengukuran divisualisasikan secara real-time melalui web dan Telegram. Hasil pengujian menunjukkan kecepatan maksimum (Qmax) rata-rata sebesar 18,75 mL/s untuk kondisi normal dan <10 mL/s pada simulasi BPH, dengan akurasi pengukuran mencapai lebih dari 95%. Sistem juga mampu mengklasifikasikan pola aliran urin menjadi normal, flat, dan saw-tooth. Alat ini bersifat portabel dan mendukung pemantauan mandiri oleh pasien.

Kata kunci : Benign Prostatic Hyperplasia, Load Cell, Mikrokontroler ESP32, Regresi Linear, Uroflowmeter,

Di sisi lain, teknologi Load Cell telah banyak digunakan dalam dunia industri dan medis, terutama dalam sistem penimbangan digital. Load Cell adalah sensor berbasis strain gauge yang mampu mengubah tekanan mekanis menjadi sinyal listrik yang proporsional terhadap berat beban[4]. Karena sifatnya yang sensitif dan akurat, Load Cell sangat ideal untuk digunakan dalam sistem pengukuran berat cairan seperti urin, terutama dalam pemantauan aliran saat proses miksi berlangsung [5].

Agar data dari Load Cell dapat dimanfaatkan secara maksimal, dibutuhkan metode pengolahan data yang dapat membentuk hubungan matematis antara waktu dan massa cairan. Oleh karena itu, digunakanlah metode regresi linear, yang mampu menghubungkan perubahan berat terhadap waktu dalam bentuk model linier. Model ini kemudian digunakan untuk menghitung kecepatan aliran urin secara kontinu. Selain itu, regresi linear juga mendukung proses kalibrasi sensor, meningkatkan akurasi alat dalam berbagai kondisi lingkungan, serta memperkuat validasi statistik pengukuran [6].

I. PENDAHULUAN

Benign Prostatic Hyperplasia (BPH) merupakan kondisi pembesaran jinak pada kelenjar prostat yang paling sering terjadi pada pria berusia lanjut, khususnya di atas usia 50 tahun. Di Indonesia[1], BPH menempati urutan kedua sebagai kelainan urologi yang paling umum setelah batu saluran kemih, dengan angka prevalensi yang terus meningkat seiring bertambahnya usia. Diperkirakan lebih dari 2,5 juta pria di Indonesia mengalami gejala BPH yang dapat memengaruhi kualitas hidup mereka secara signifikan[2].

Untuk menilai gangguan ini, digunakan metode non-invasif bernama uroflowmetri, yang berfungsi untuk mengukur parameter klinis seperti Qmax (kecepatan aliran urin maksimum), Qavg (rata-rata kecepatan aliran), serta pola aliran urin. Nilai-nilai ini memberikan gambaran terhadap tingkat obstruksi saluran kemih dan kontraksi otot detrusor pasien[3].

II. KAJIAN TEORI

A. Uroflowmetri dan Parameter Klinis

Uroflowmetri merupakan metode non-invasif yang digunakan untuk mengukur kecepatan dan pola aliran urin, terutama dalam mendiagnosis gangguan seperti Benign Prostatic Hyperplasia (BPH). Parameter utama yang dianalisis meliputi:

- Qmax (flowrate maksimum) < 15 ml/s
- Flowrate rata-rata < 10 ml/s
- Durasi aliran cenderung lebih lama (> 25 detik)
- Bentuk kurva cenderung flat atau saw-tooth (bergerigi)

Sebaliknya, kondisi normal umumnya memiliki:

- Qmax > 15 ml/s
- Flowrate rata-rata > 10 ml/s
- Durasi 15–25 detik
- Kurva berbentuk lonceng (bell-shaped), menandakan aliran lancar

Pada kondisi normal, $Q_{max} > 15$ mL/s dengan kurva aliran berbentuk lonceng (bell-shaped), sedangkan pada penderita BPH, Q_{max} biasanya < 15 mL/s dengan pola aliran datar atau bergerigi (flat/saw-tooth) dan waktu berkemih lebih lama[7].

B. Sensor Load Cell dan Modul HX711

Sensor Load Cell bekerja berdasarkan prinsip strain gauge, yang mengubah gaya mekanik akibat berat cairan menjadi sinyal listrik. Sinyal ini sangat kecil, sehingga diperlukan modul HX711 sebagai penguat dan konverter analog-ke-digital. Kombinasi ini memungkinkan pengukuran berat urin secara akurat dan real-time, dengan data yang kemudian diproses oleh mikrokontroler seperti ESP32[8].

C. Regresi Linier

Regresi linear sederhana digunakan untuk memodelkan hubungan antara berat cairan (hasil pembacaan Load Cell) terhadap waktu. Persamaan regresinya berbentuk:

$$Y = a + Bx \quad (1)$$

- Y = berat urin (gram)
- X = waktu (detik)
- a = intercept (berat awal)
- b = slope (kemiringan, mewakili laju perubahan berat)

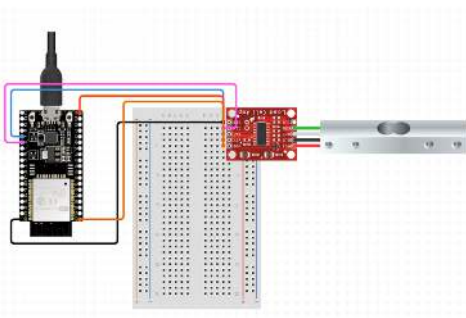
Slope dari model ini berfungsi untuk menghitung laju aliran cairan, yang kemudian dikonversi ke dalam satuan mL/s sebagai estimasi Q_{avg} dan Q_{max} . Metode ini juga meningkatkan akurasi alat dengan meminimalkan error dan mendukung proses kalibrasi[9].

D. Moving Average (MAV)

Moving Average adalah teknik statistik untuk menghaluskan data flowrate dengan mengurangi efek fluktuasi mendadak dari pembacaan sensor. Dalam penelitian ini, MAV digunakan untuk menstabilkan grafik aliran urin sehingga pola aliran dapat dikenali lebih jelas (normal, flat, atau *saw-tooth*). Teknik ini menghitung nilai rata-rata dari sejumlah data sebelumnya (*window size*), seperti MAV-5 yang menggunakan 5 data terakhir[10].

III. METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimental yang bertujuan mengembangkan dan menguji sistem uroflowmeter berbasis sensor Load Cell dengan penerapan regresi linear. Langkah-langkah pelaksanaan terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:



GAMBAR 1
(RANGKAIAN UROFLOWMETER BERBASIS LOADCELL)

A. Perancangan Sistem

Sistem dirancang sebagai perangkat portabel yang mampu melakukan pengukuran kecepatan aliran urin secara real-time menggunakan pendekatan sensorik berbasis berat. Komponen utama sistem meliputi:

1. Load Cell kapasitas 1 kg: Berfungsi untuk mengukur berat cairan urin yang mengalir ke dalam wadah penampung. Load Cell bekerja berdasarkan prinsip strain gauge, yang menghasilkan perubahan resistansi saat mendapatkan tekanan. Perubahan ini dikonversi menjadi sinyal listrik yang merepresentasikan berat cairan.
2. Modul HX711: Bertugas untuk memperkuat sinyal listrik yang sangat kecil dari Load Cell dan mengubahnya menjadi sinyal digital. Modul ini memiliki resolusi tinggi dan cocok untuk aplikasi pengukuran presisi seperti timbangan digital atau alat medis.
3. Mikrokontroler ESP32: Mengelola pembacaan data dari HX711 dan melakukan pemrosesan data secara lokal. ESP32 menjalankan algoritma regresi linear untuk menghitung slope dari grafik berat terhadap waktu, serta menerapkan metode Moving Average untuk menghaluskan data. Selain itu, ESP32 juga digunakan untuk mengirimkan data hasil kecepatan aliran urin ke platform web dan Telegram secara real-time.
4. Wadah penampung cairan: Digunakan sebagai tempat mengalirnya cairan simulasi urin selama proses pengujian. Wadah ini diletakkan di atas Load Cell untuk memastikan setiap tetesan yang masuk dapat langsung memengaruhi pembacaan berat.

B. Akuisisi Data

Mikrokontroler ESP32 membaca data berat secara berkala setiap 100 milidetik. Data dikumpulkan selama proses berkemih simulasi dan disimpan dalam bentuk array atau buffer untuk diolah lebih lanjut.

C. Penerapan Regresi Linear

Data berat yang diperoleh diplot terhadap waktu untuk membentuk grafik. Kemudian diterapkan metode regresi linear untuk mencari slope (kemiringan) dari hubungan waktu dan berat, dengan persamaan $Y = a + bX$. Slope (b) menunjukkan laju perubahan berat per waktu, yang kemudian dikonversi menjadi flowrate dalam satuan mL/s.

D. Penghalusan Data (Moving Average)

Flowrate yang dihasilkan dari regresi linear kemudian dihaluskan menggunakan teknik Moving Average dengan window size 5 (MAV-5) untuk mengurangi fluktuasi dan noise yang berasal dari getaran atau ketidakaturan aliran.

E. Visualisasi dan Monitoring

Data flowrate yang telah diolah divisualisasikan dalam bentuk grafik waktu terhadap kecepatan aliran urin secara real-time. Visualisasi ini ditampilkan melalui antarmuka web berbasis IoT yang dapat diakses melalui perangkat seluler atau komputer. Selain itu, sistem juga terintegrasi dengan bot Telegram yang mengirimkan notifikasi hasil pengukuran secara langsung. Grafik hasil pengukuran dapat dianalisis untuk mengidentifikasi jenis pola aliran urin, yaitu:

- Normal: aliran membentuk kurva lonceng (bell-shaped).

- Flat: aliran konstan dan lambat, tanpa puncak signifikan.
- Saw-tooth: aliran tidak stabil dengan banyak fluktuasi naik turun tajam.

F. Validasi Sistem

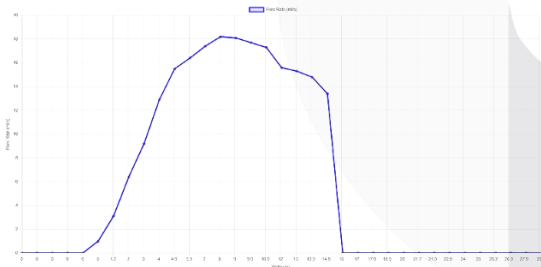
Untuk memastikan keakuratan sistem, dilakukan pengujian menggunakan cairan simulasi urin yang dituangkan secara terkendali sesuai tiga pola simulasi. Hasil pengukuran dibandingkan dengan timbangan digital sebagai alat pembanding untuk menghitung error dan akurasi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem diuji menggunakan cairan simulasi urin dengan debit yang diatur untuk mewakili kondisi normal dan BPH. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sistem dapat mendeteksi perbedaan Qmax antara kondisi normal dan BPH. Rata-rata Qmax kondisi normal mencapai 18,75 mL/s, sedangkan pada simulasi BPH kurang dari 10 mL/s. Grafik aliran urin menunjukkan pola yang sesuai dengan klasifikasi klinis (normal, flat, saw-tooth). Akurasi pengukuran alat dibandingkan dengan timbangan digital menunjukkan error <5%.

TABEL 1
(HASIL PENGUJIAN QMAX DAN POLA ALIRAN)

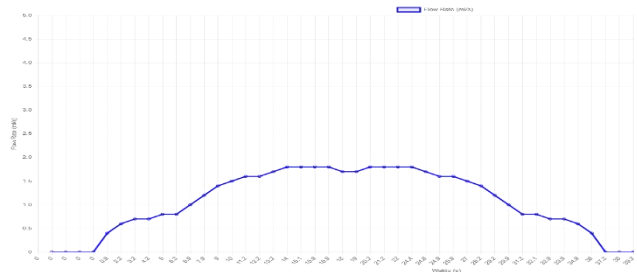
Skenario	Rata-rata Qmax (mL/s)	Pola Grafik	Akurasi (%)
Normal	18,75	Bell-shaped	96,2
BPH (Flat)	9,52	Flat	95,3
BPH (Saw-tooth)	7,84	Saw-tooth	94,7



GAMBAR 2
(POLA GRAFIK BELL-SHAPED)

Grafik menunjukkan pola yang juga menyerupai pola normal, dengan akselerasi cepat hingga mencapai Qmax sekitar 18 ml/s, kemudian sedikit fluktuasi kecil sebelum menurun drastis. Tidak ditemukan adanya pola saw-tooth (gerigi) atau flattening (datar mendatar) yang menandakan obstruksi atau gangguan aliran. Grafik ini memperlihatkan:

- Durasi aliran pendek, sekitar 17 detik,
- Volume akhir yang cukup besar,
- Tidak adanya jeda atau gangguan aliran.



GAMBAR 3
(POLA GRAFIK FLAT)

Pola grafik aliran urin Flat terbentuk ketika nilai Qmax kurang dari 8 mL/s dan durasi aliran melebihi 25 detik. Kondisi ini menunjukkan bahwa aliran urin cenderung lambat dan tidak mencapai kecepatan puncak yang tinggi. Grafik yang dihasilkan tampak datar atau hampir lurus, tanpa bentuk kurva yang jelas. Hal ini bisa mengindikasikan adanya hambatan ringan pada saluran kemih atau lemahnya kontraksi otot kandung kemih. Dalam sistem ini, pola Flat terdeteksi secara otomatis jika kecepatan puncak aliran (Qmax) rendah dan durasi buang air kecil berlangsung lama.



GAMBAR 3
(POLA GRAFIK SAW-TOOTH)

Pola aliran urin dikategorikan sebagai Sawtooth jika nilai Qmax di atas 8 mL/s, rata-rata flow rate di bawah 5 mL/s, dan durasi aliran lebih dari 25 detik. Pada kondisi ini, sistem mendeteksi bahwa aliran urin mengalami banyak fluktuasi tajam yang tidak stabil, ditandai dengan grafik yang bergerigi atau tidak membentuk pola lonceng normal. Kurva terlihat penuh lekukan yang naik-turun drastis, menunjukkan bahwa aliran urin tersendat-sendat dan tidak lancar. Kategori ini sering menunjukkan adanya hambatan signifikan pada saluran kemih, seperti striktur uretra atau kontraksi otot kandung kemih yang tidak konsisten, yang membuat proses berkemih terasa tidak tuntas atau terganggu.

Karena keterbatasan akses terhadap pasien klinis serta mempertimbangkan etika penelitian, simulasi kondisi BPH dilakukan dengan cara mengontrol aliran urin agar menyerupai karakteristik khas BPH yang tertuang pad bab 2 point A, yaitu aliran tersendat, lambat, dan tidak stabil. Sementara itu, kondisi normal dilakukan dengan pengeluaran urin secara lancar tanpa hambatan. Semua pengukuran dilakukan menggunakan sistem yang sama dan direkam otomatis oleh mikrokontroler berbasis ESP32.

Berikut adalah hasil pengujian yang dilakukan terhadap delapan data, yang terdiri dari 5 data kondisi normal dan 5 data simulasi BPH. Klasifikasi dilakukan secara otomatis berdasarkan parameter numerik.

TABEL 2
(DATA KONDISI NORMAL)

Normal

No	Waktu	Berat	Qmax ml/s	Flowrate
1	20	235.4	18.2	11.8
2	17	253.3	26.1	14.9
3	6	174	19.4	10.9
4	16.1	239.8	26.4	14.9
5	17	276	26.3	16.2

TABEL 3
DATA KONDISI BPH

Tidak Normal				
No	Waktu	Berat	Qmax ml/s	Flowrate
1	34	136.1	6.2	4
2	19	156.7	14.3	8.2
3	37.1	206.5	13.4	5.6
4	26.7	125.6	7.5	4.7
5	43	137.6	6.4	3.2

Klasifikasi menunjukkan bahwa sistem mampu membedakan secara jelas antara kondisi normal dan abnormal berdasarkan Qmax, rata-rata flowrate, dan durasi. Semua data simulasi BPH berhasil teridentifikasi sebagai Tidak Normal, sementara data normal diklasifikasikan sesuai

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian sistem uroflowmeter berbasis Load Cell yang dilengkapi dengan metode regresi linear, dapat disimpulkan bahwa sistem ini mampu mengukur kecepatan aliran urin secara efektif dan akurat. Metode regresi linear berperan penting dalam membentuk model matematis antara waktu dan berat cairan, yang digunakan untuk menghitung parameter klinis seperti Qmax dan Qavg. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan data dengan akurasi lebih dari 95% jika dibandingkan dengan alat pembanding, serta dapat membedakan pola aliran urin seperti normal, flat, dan saw-tooth. Sistem ini dilengkapi fitur visualisasi data secara real-time melalui web dan Telegram bot, yang membuatnya praktis dan mudah digunakan untuk pemantauan mandiri oleh pasien dengan gejala BPH. Dengan pendekatan yang portabel, hemat biaya, dan terintegrasi dengan teknologi IoT, alat ini memiliki potensi besar untuk digunakan dalam pemantauan kesehatan prostat secara berkelanjutan tanpa harus bergantung pada fasilitas medis konvensional.

REFERENSI

- [1] F. Adelia, A. Monoarfa, and A. Wagiu, "250 Gambaran Benigna Prostat Hiperplasia di RSUP Prof.

- Dr. R. D. Kandou Manado Periode Januari 2014 â€“ Juli 2017," *e-CliniC*, vol. 5, no. 2, Art. no. 2, 2017, doi: 10.35790/eccl.v5i2.18538.
- [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," *Molucca Medica*, pp. 141–151, Oct. 2017, doi: 10.30598/molmed.2017.v10.i2.141.
- [3] C. Novianti, H. Sutapa, and D. I. N. Pratiwi, "Literature Review: Hubungan Hasil Pemeriksaan Uroflowmetri dengan Volume Prostat pada Pasien Benign Prostatic Hyperplasia (BPH)," *Homeostasis*, vol. 4, no. 3, Art. no. 3, Dec. 2021, doi: 10.20527/ht.v4i3.4553.
- [4] A. F. Hastawan *et al.*, "Comparison of testing load cell sensor data sampling method based on the variation of time delay," *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 700, no. 1, p. 012018, Mar. 2021, doi: 10.1088/1755-1315/700/1/012018.
- [5] W. Walendziuk, "Dynamic Outlier Detection in the Calibration by Comparison Method Applied to Strain Gauge Weight Sensors," *Sensors (Basel)*, vol. 18, no. 12, p. 4200, Nov. 2018, doi: 10.3390/s18124200.
- [6] "Design and Shape Optimization of Strain Gauge Load Cell for Axial Force Measurement for Test Benches." Accessed: Dec. 01, 2024. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/19/7508>
- [7] general_alomedika, "Teknik Uroflowmetry," Alomedika. Accessed: Jun. 22, 2025. [Online]. Available: <https://www.alomedika.com/tindakan-medis/genitourinaria/uroflowmetry/teknik>
- [8] R. M. Putra, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Volume Cairan Infus Menggunakan Sensor Load Cell Berbasis Internet Of Things (Iot)," Aug. 2021, Accessed: Nov. 23, 2024. [Online]. Available: <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/36188>
- [9] A. A. Muhartini, O. Sahroni, S. D. Rahmawati, T. Febrianti, and I. Mahuda, "ANALISIS PERAMALAN JUMLAH PENERIMAAN MAHASISWA BARU DENGAN MENGGUNAKAN METODE REGRESI LINEAR SEDERHANA," *Jurnal Bayesian : Jurnal Ilmiah Statistika dan Ekonometrika*, vol. 1, no. 1, Art. no. 1, Mar. 2021, doi: 10.46306/bay.v1i1.2.
- [10] "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>