

Pengukuran *Somatotype* dan *Center of Pressure (CoP)* dengan *Force Platform* untuk Mengetahui Pengaruh Morfologi Tubuh terhadap Keseimbangan Postur Berdiri

¹Hesty Susanti*), ¹Husneni Mukhtar, ¹Dien Rahmawati, ¹Muhammad Arik Gerald Fauzi, ¹Suto Setiyadi

¹Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

*) hestysusanti@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Kemampuan melakukan aktivitas dipengaruhi oleh keseimbangan postur tubuh, terutama posisi berdiri yang dapat diukur melalui *center of pressure (CoP)* yang dipengaruhi oleh morfologi tubuh. Pada penelitian ini dirancang sistem pengukuran untuk mengetahui pengaruh morfologi tubuh (*somatotype*) terhadap keseimbangan postur berdiri stasioner yang terukur dari CoP. Kecenderungan *sway* dari CoP diamati pada arah medial-lateral (ML) dan anterior-posterior (AP). Rumus Heath-Carter digunakan untuk mengelompokkan *somatotype* dan CoP untuk mengukur keseimbangan tubuh. Parameter statistik (*range* dan *approximate entropy (ApEn)*) dihitung dari CoP ML dan AP sehingga dapat diketahui titik pusat CoP, jarak perpindahan tiap sumbu, serta kestabilannya. Pengukuran dilakukan pada 50 subjek laki-laki (15 – 23 tahun). Hasil pengukuran menunjukkan *range* rata-rata galat 0,37 – 2,58 % (sensor ultrasonik), 0,64 – 4,67 % (*load cell*), 0,1-0,6 % (ApEn pada CoP ML), serta 0% (ApEn pada COP AP). Kesalahan kecil pada ApEn menunjukkan sistem pengukuran relatif stabil. Dari sistem ini dapat diketahui bahwa morfologi tubuh mempengaruhi *sway* atau keseimbangan postur berdiri stasioner. Kelompok *ectomorphic* menunjukkan *sway* paling tinggi dibandingkan *endomorph*ic dan *mesomorph*ic karena cenderung lebih tinggi dan kurus sehingga kemungkinan *sway* lebih tinggi relatif terhadap letak CoP di tubuh. Rasio besar antara tinggi dan massa tubuh menyebabkan distribusi sebagian massa tubuh lebih tinggi dari pusat massa tubuh.

Kata Kunci: *somatotype*; morfologi tubuh; keseimbangan postur tubuh; *center of pressure*

1 Pendahuluan

Keseimbangan postur tubuh dapat didefinisikan sebagai kemampuan mempertahankan pusat massa tubuh untuk mencegah jatuh dan menyelesaikan gerakan yang diinginkan. Kemampuan manusia untuk melakukan aktivitas sehari-hari dipengaruhi oleh keseimbangan postur tubuh pada berbagai posisi, terutama pada posisi berdiri. Pengontrolan postur merupakan proses mempertahankan pusat gravitasi (*center of gravity / CoG*) melalui aktivitas kontinu dari otot dan pemosisian sendi [1].

Stabilitas postur sangat penting dalam menjaga keseimbangan tubuh selama melakukan aktivitas sehari-hari, seperti berdiri, berjalan, dan terutama saat diperlukan pengontrolan keseimbangan tingkat tinggi, misalnya dalam aktivitas olahraga [2]. Pada konteks aktivitas olahraga, keseimbangan postur tubuh menjadi penting untuk diuji dengan tujuan untuk mencegah terjadinya cedera [3]. Selain itu, jika keseimbangan postur tubuh terganggu, selain lebih sulit untuk melakukan aktivitas dengan baik, risiko jatuh juga semakin meningkat. Secara global, jatuh menjadi salah satu penyebab masalah kesehatan yang utama. Diperkirakan 684.000 kecelakaan fatal akibat jatuh terjadi setiap tahun, menjadikannya penyebab kedua dari kematian akibat cedera yang tidak disengaja [4].

Dalam dunia kesehatan dan kedokteran, pengukuran keseimbangan postur tubuh sangat penting untuk dilakukan karena terkait dengan banyak aspek, misalnya untuk observasi kognitif terhadap *sway* saat berjalan [5], dan sebagai indikator kelelahan pada pekerja kantoran [6]. Pengukuran tersebut selanjutnya digunakan untuk keperluan diagnosis dan penanganan gangguan keseimbangan postur tubuh, misalnya pada pasien dengan gangguan neurologis atau ortopatik [7], serta sebagai indikator dan penanganan sindrom *frailty* pada pasien lansia [8].

Terdapat berbagai metode untuk mengukur keseimbangan postur tubuh, antara lain *functional reach test*, *single leg stance test*, *Fugl-Meyer test*, *fall risk index*, *Barthel index*, dan *Berg balance test*. Metode-metode tersebut sangat berguna untuk mendeteksi gangguan keseimbangan postur tubuh, namun tidak dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan kecil pada kemampuan untuk menyeimbangkan postur tubuh [9].

Pengukuran *body sway* dapat dilakukan untuk mengukur keseimbangan postur tubuh, baik dalam keadaan diam maupun bergerak lambat. *Sway* adalah gerakan horizontal CoG pada tubuh bahkan ketika seseorang berdiri diam. *Sway* dalam derajat tertentu tidak dapat dihindari karena perubahan atau gangguan di dalam tubuh. Ketika bernapas, atau menggeser berat tubuh dari satu kaki ke kaki lainnya. Berbeda dari metode-metode pengukuran keseimbangan yang telah disebutkan di atas, metode pengukuran *body sway* ini dapat mendeteksi perubahan kecil pada kemampuan menyeimbangkan postur tubuh, yaitu dengan menghitung pergerakan pusat gravitasi atau pusat tekanan (*center of pressure/CoP*) dari subjek [10, 11, 12]. Dari berbagai metode pengukuran CoP, seperti *pressure-measuring insoles*, *pressure-sensitive mat*, dan *force platform*, metode *force*

platform menunjukkan hasil pengukuran yang konsisten dan akurat serta relatif mudah dilakukan dibandingkan metode lainnya [13, 14, 15, 16]. Oleh karena itu, pada penelitian ini dipilih metode pengukuran CoP dengan menggunakan *force platform*.

Selain faktor *body sway*, keseimbangan postur tubuh juga dipengaruhi oleh faktor biomekanik. Salah satu faktor biomekanik yang sangat mempengaruhinya adalah morfologi tubuh [17, 18]. *Somatotype* merupakan salah satu metode untuk mengelompokkan morfologi fisik manusia. *Somatotype* dilakukan dengan mengukur morfologi tubuh dan struktur tubuh berdasarkan tiga tipe, yaitu *endomorphnic*; terkait dengan kecenderungan tubuh untuk menyimpan lemak tinggi, *mesomorphnic*; terkait dengan tubuh yang berotot dan metabolisme tinggi, dan *ectomorphnic*; terkait dengan tubuh yang kurus dan tinggi serta sulitnya membentuk otot [19, 20].

Pada penelitian oleh Allard dkk. dikemukakan hubungan antara morfologi *somatotype* dan ekuilibrium postur berdiri pada subjek perempuan. Pada penelitian ini disimpulkan bahwa penurunan stabilitas postur berdiri pada kelompok *ectomorphnic* dikaitkan dengan komponen otot yang relatif rendah, rasio yang besar antara tinggi dan massa tubuh, serta posisi yang lebih tinggi dari pusat massa tubuh [21]. Penelitian lain oleh Farenc dkk mengkonfirmasi penemuan serupa bahwa kelompok *ectomorphnic* memiliki kecenderungan *body sway* yang lebih tinggi [22]. Mengenai faktor gender, penelitian menunjukkan bahwa keseimbangan postur tubuh lebih banyak dipengaruhi oleh faktor antropometri dan morfologi tubuh pada laki-laki dibandingkan perempuan [23]. Perempuan juga menunjukkan kecenderungan indeks stabilitas yang lebih baik dibanding laki-laki [22, 24]. Oleh karena itu, pada penelitian ini dipilih subjek laki-laki karena faktor morfologi tubuh lebih mempengaruhi keseimbangan postur tubuh pada laki-laki.

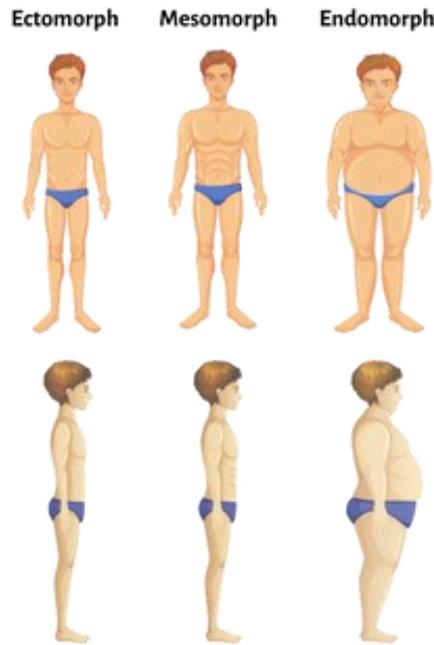
Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa *body sway* dan morfologi tubuh merupakan faktor-faktor penting yang signifikan mempengaruhi keseimbangan postur tubuh. Dengan memanfaatkan kesimpulan tersebut, pada penelitian ini dirancang suatu sistem pengukuran untuk melihat bagaimana pengaruh tipe morfologi tubuh manusia (*somatotype* dengan rumus Heath-Carter) terhadap keseimbangan postur tubuh manusia saat berdiri diam (stasioner) yang terukur dari nilai CoP dengan *force platform* dari 50 subjek laki-laki. Selain itu, kecenderungan *sway* dari pengukuran CoP akan secara spesifik diamati pada arah medial-lateral (ML) dan anterior-posterior (AP) untuk mengetahui arah mana yang paling terpengaruh pada proses penyeimbangan postur tubuh.

2 Metode

2.1 Somatotype dan Center of Pressure (CoP)

2.1.1 Perhitungan Somatotype

Perhitungan *somatotype* dilakukan dengan menggunakan rumus Heath-Carter, yaitu dengan memasukkan parameter-parameter antropometrik, massa tubuh, dan tinggi tubuh. Ilustrasi postur tubuh untuk setiap jenis *somatotype* ditunjukkan oleh gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi postur tubuh dengan salah satu nilai somatotype tinggi.

Endomorphic merupakan jenis *somatotype* yang berhubungan dengan kegemukan pada tubuh. Nilai rendah pada *endomorphic* menggambarkan fisik yang sangat ramping dengan sedikit lemak tubuh, sedangkan nilai *endomorphic* tinggi mencirikan fisik yang gemuk dengan lapisan lemak yang tebal pada lapisan bawah kulit. Rentang penilaian *endomorphic* berkisar antara 1,5 - 16. Perhitungan *endomorphic* menggunakan rumus Heath-Carter (1) dan (2) [25]:

$$Endomorphic = 0,7182 + 0,145x - 0,00068x^2 + 0,0000014x^3 \tag{1}$$

$$x = \frac{(lipatan\ kulit\ tricep\ [mm] + lipatan\ kulit\ subscapular\ [mm] + lipatan\ kulit\ suprascapular\ [mm]) \times 170,18}{tinggi\ tubuh\ [cm]} \tag{2}$$

Mesomorphic merupakan jenis *somatotype* yang berhubungan dengan kekuatan muskuloskeletal pada tubuh. Nilai rendah pada *mesomorphic* menggambarkan fisik dengan tulang berdiameter sempit dan massa otot yang kecil, sedangkan nilai tinggi mencirikan fisik dengan massa otot yang besar dan tulang yang berdiameter lebar. Rentang penilaian *mesomorphic* berkisar antara 1,5 - 12. Perhitungan *mesomorphic* menggunakan rumus Heath-Carter (3) [25]:

$$Mesomorphic = (0,858 \times lebar\ tulang\ humerus\ [cm]) + (0,601 \times lebar\ tulang\ paha\ [cm]) + (0,188 \times lingkaran\ tricep\ [cm]) + (0,161 \times lingkaran\ betis\ [cm]) - (0,131 \times tinggi\ tubuh\ [cm]) + 4,5 \tag{3}$$

Ectomorphic merupakan jenis *somatotype* yang berhubungan dengan linearitas atau “kekakuan” tubuh. Penilaian pada *ectomorphic* berhubungan dengan *endomorphic* dan *mesomorphic*. Nilai rendah pada *ectomorphic* menunjukkan tubuh dengan massa yang besar, sedangkan nilai tinggi menunjukkan tubuh dengan massa yang kecil dan segmen tungkai yang panjang. Rentang penilaian *ectomorphic* berkisar antara 1,5 - 9. Perhitungan *ectomorphic* menggunakan rumus Heath-Carter (4) - (7) [25]:

$$PI = \frac{tinggi\ tubuh\ [cm]}{massa\ tubuh\ [kg]^{1/3}} \tag{4}$$

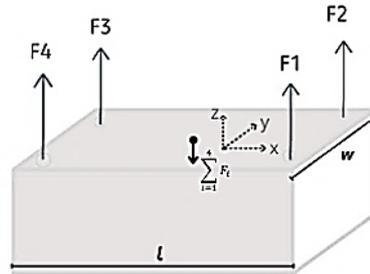
$$Jika\ PI > 40,74; ectomorphic = (0,732 \times PI) - 28,58 \tag{5}$$

$$Jika\ 39,65 < PI < 40,74; ectomorphic = (0,463 \times PI) - 17,615 \tag{6}$$

$$\text{Jika } PI < 39,65; \text{ectomorphic} = 0,5 \tag{7}$$

2.1.2 Perhitungan Pusat Tekanan (Center of Pressure (CoP))

Pusat tekanan (CoP) dalam sistem pengukuran ini adalah parameter deret waktu yang memiliki koordinat pada sumbu X dan sumbu Y. Perhitungan CoP dapat digambarkan dengan dengan sumbu Cartesian di bagian tengah sisi atas *force platform* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2, di mana sumbu X sebagai medial-lateral (ML), sumbu Y sebagai anterior-posterior (AP), dan sumbu Z sebagai arah vertikal [26].



Gambar 2. Perhitungan CoP pada koordinat Cartesian 3 dimensi.

Dengan mengasumsikan $F1, F2, F3,$ dan $F4$ sebagai hasil pengukuran masing-masing sensor *load cell* pada setiap ujung *force platform*, maka momen gaya terhadap sumbu Y, CoP pada sumbu X (X_{CoP}), serta CoP pada sumbu Y (Y_{CoP}) dapat dihitung berturut-turut dengan rumus (8) - (10):

$$MY = (F1 + F2 + F3 + F4) \times l/2 \tag{8}$$

$$X_{CoP} = \frac{(F1 + F2 + F3 + F4) \times l/2}{F1 + F2 + F3 + F4} \tag{9}$$

$$Y_{CoP} = \frac{(F1 + F2 + F3 + F4) \times w/2}{F1 + F2 + F3 + F4} \tag{10}$$

Parameter l menunjukkan jarak antara dua *load cell* pada sumbu X, sedangkan w adalah jarak antara dua *load cell* pada sumbu Y.

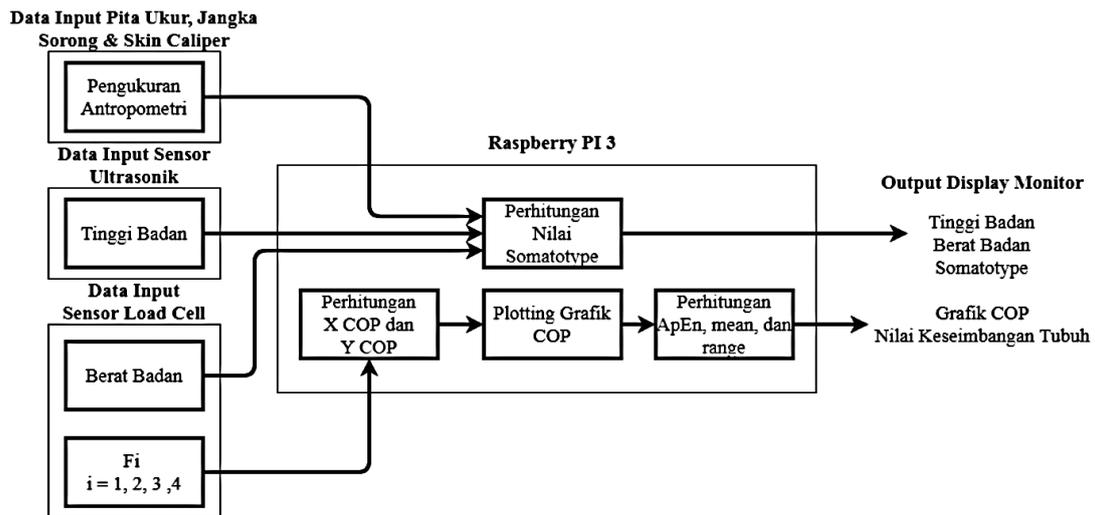
Parameter-parameter statistik dari CoP yang meliputi *approximate entropy* (ApEn), dan *range* dihitung untuk menguji keseimbangan postur tubuh. *Approximate entropy* merupakan suatu metode untuk mengukur tingkat ketidakpastian pada suatu deret waktu. ApEN memiliki nilai 0 - 2, di mana nilai yang mendekati 0 menunjukkan deret waktu yang anggotanya berulang, sedangkan nilai yang mendekati 2 menunjukkan deret waktu dengan anggota acak. Perhitungan ApEn menggunakan rumus (11):

$$ApEn(N, m, r) = \sum \ln(\Phi^m(r)) - \sum \ln(\Phi^{m+1}(r)) N - m + 1 \tag{11}$$

Parameter N menunjukkan jumlah data, m adalah panjang segmentasi data, dan r merupakan *threshold* toleransi untuk menerima pola yang sama antara segmen yang bertetangga.

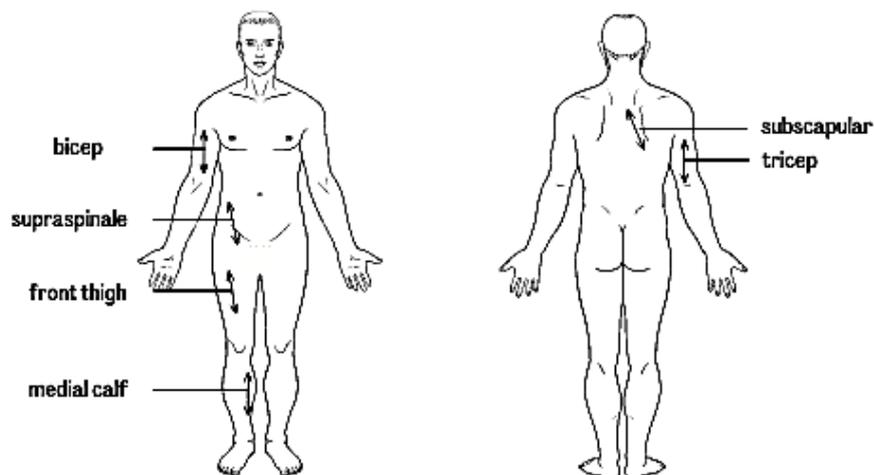
2.2 Desain Sistem Pengukuran

Sistem pengukuran yang dirancang pada penelitian ini ditunjukkan oleh gambar 3. Sistem pengukuran ini memiliki tiga masukan, yaitu pengukuran antropometrik, tinggi tubuh, dan massa tubuh. Data dari ketiga masukan ini diproses menggunakan mikrokomputer Raspberry PI untuk menentukan nilai *somatotype* dan menghitung pusat tekanan (CoP) serta parameter-parameter statistiknya.



Gambar 3. Desain sistem pengukuran.

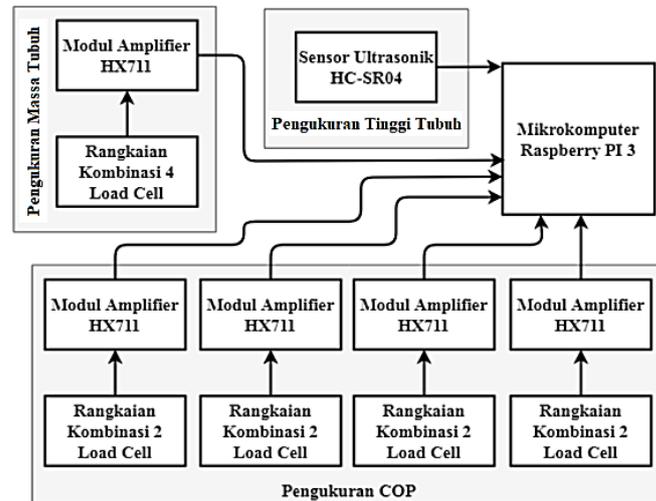
Delapan parameter antropometrik (lihat gambar 4) yang terdiri dari lipatan kulit *triceps*, *subscapular*, *medial calf*, dan *supraspinale*, lebar tulang paha depan dan tulang *humeral bone*, serta lingkaran *triceps* dan lingkaran betis (*calf*) diukur menggunakan kaliper lipatan kulit, pita ukur, dan kaliper biasa.



Gambar 4. Letak pengukuran antropometrik: (kiri) tampilan tubuh tampak depan, (kanan) tampilan tubuh tampak belakang.

2.2.1 Desain Perangkat Keras

Diagram blok dari desain perangkat keras sistem ini ditunjukkan pada gambar 5, sedangkan desain perangkat kerasnya ditunjukkan pada gambar 6. Tinggi rata-rata tubuh orang Indonesia yang di bawah 200 cm diperhitungkan untuk menentukan tinggi tiang pengukuran tinggi tubuh, yaitu setinggi 220 cm. Pijakan *load cell* dibuat menjadi dua *platform* yang ditumpuk, *platform* pertama digunakan untuk pengukuran CoP dan *platform* kedua digunakan untuk pengukuran massa tubuh. Dimensi pijakan *load cell* berukuran 70 cm x 50 cm agar subjek dapat berdiri tegak sempurna pada *force platform*.

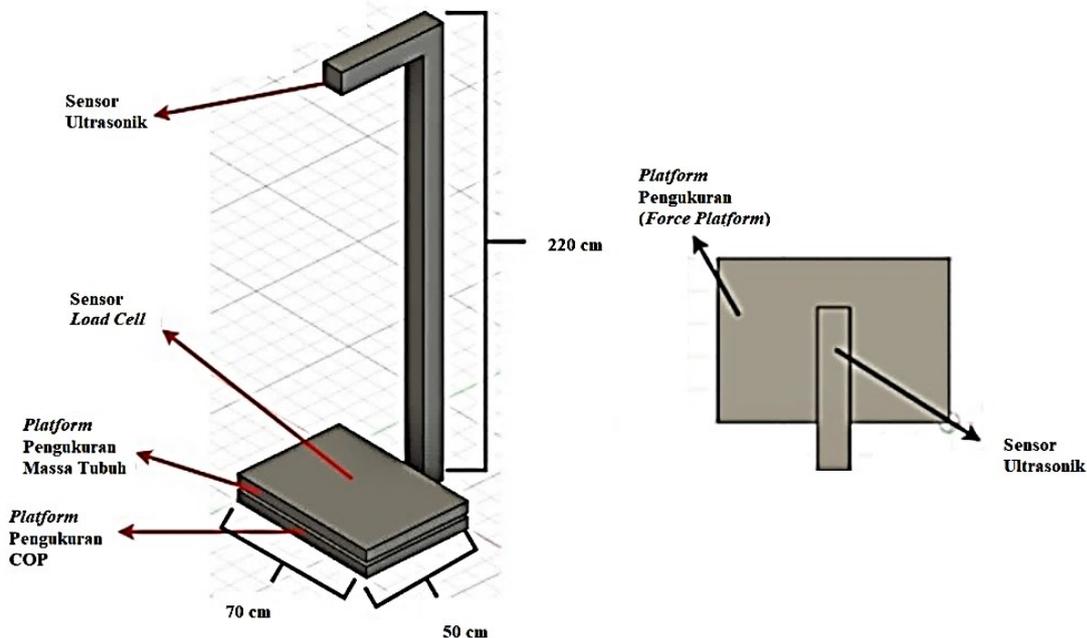


Gambar 5. Diagram blok desain perangkat keras

Pengukuran tinggi tubuh dilakukan menggunakan sebuah sensor ultrasonik HC-SR04. Sensor ultrasonik digunakan karena kebutuhan untuk menunjukkan hasil yang otomatis, serta pengukuran yang sederhana dan biaya komponen yang relatif murah. Selisih antara waktu kirim dan waktu terima adalah representasi dari jarak objek (S) menurut rumus (12), di mana v merepresentasikan cepat rambat gelombang ultrasonik di udara dan t adalah waktu tempuh. Nilai tinggi tubuh diperoleh dengan menghitung perbedaan keluaran sensor sebelum (S_0) dan sesudah subjek berada di atas *force platform* (S_{Subjek}) menurut rumus (13).

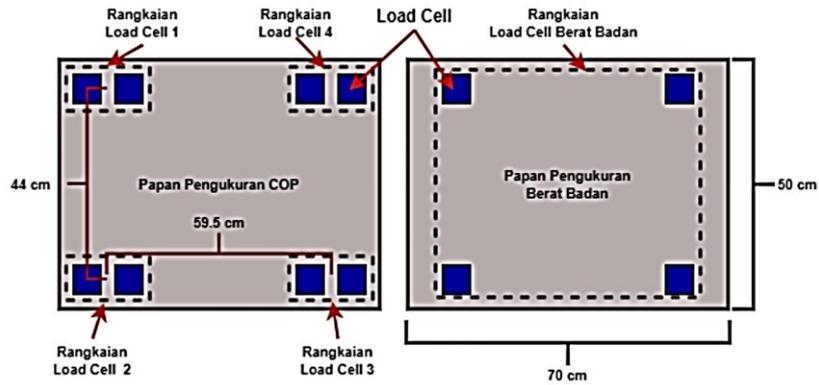
$$S = \frac{v \times t}{2} \tag{12}$$

$$Tinggi\ tubuh = S_0 - S_{Subjek} \tag{13}$$



Gambar 6. Desain perangkat keras sistem: (kiri) tampak samping, (kanan) tampak atas.

Pengukuran massa tubuh dan pusat tekanan (CoP) dilakukan menggunakan dua sistem *load cell* yang terpisah. Pemisahan ini dilakukan karena perhitungan massa tubuh tidak dapat dilakukan dengan cara merata-ratakan hasil pengukuran pada masing-masing *load cell* dengan sistem terpisah pada setiap sudut *force platform*. Namun, pengukuran massa tubuh dapat dilakukan dengan cara merangkai *load cell* pada setiap sudut *force platform* dan menjadikannya satu sistem sehingga hasil pengukuran *load cell* merupakan suatu bidang yang dibentuk oleh *load cell* tersebut. Penempatan sistem *load cell* ditunjukkan pada gambar 7.

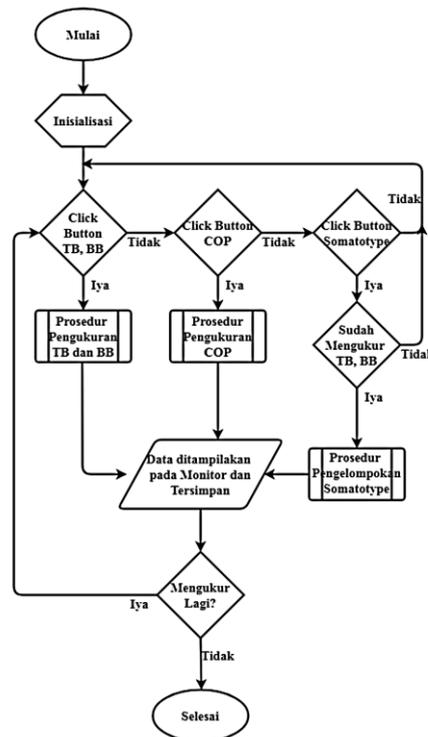


Gambar 7. Penempatan load cell pada force platform.

Keluaran sinyal listrik dari *load cell* dalam orde mV diperkuat dengan modul penguat (*amplifier*) HX711 sehingga nilai keluaran *load cell* dapat dibaca oleh mikrokomputer Raspberry PI untuk menghitung massa tubuh. Keseluruhan perangkat keras sistem dihubungkan dengan sumber daya DC 5 V, monitor, papan kunci, dan tetikus. *Graphical User Interface* (GUI) dari sistem ditampilkan pada monitor dan dapat diakses menggunakan papan kunci dan tetikus oleh pengguna.

2.2.2 Desain Perangkat Lunak

Diagram alir keseluruhan sistem ditunjukkan pada gambar 8. Pada gambar 8, masukan berasal dari sensor *load cell*, sensor ultrasonik, dan 8 pengukuran antropometri. Proses awal pada sistem ini adalah inialisasi awal, kemudian jika pengguna menekan tombol pengukuran tinggi tubuh dan massa tubuh, maka sistem akan melakukan pengukuran tinggi tubuh menggunakan sensor ultrasonik dan pengukuran massa tubuh menggunakan sensor *load cell*. Jika pengguna menekan tombol *somatotype*, maka sistem akan memeriksa apakah pengukuran tinggi tubuh dan massa tubuh telah dilakukan. Jika belum, maka sistem tidak akan memproses ke tahap selanjutnya. Jika sudah, maka sistem akan meminta pengguna untuk memasukkan data pengukuran antropometri. Lalu, perhitungan *somatotype* dilakukan berdasarkan data pengukuran antropometri, tinggi tubuh, dan massa tubuh sehingga diperoleh jenis *somatotype* dari subjek pengukuran. Jika, pengguna menekan tombol CoP, maka sistem akan melakukan prosedur pengukuran pusat tekanan (CoP) menggunakan sensor *load cell*. Semua data pengukuran disimpan pada *memory* Raspberry PI dan ditampilkan di *display monitor*.



Gambar 8. Diagram alir sistem pengukuran secara keseluruhan.

3 Eksperimen dan Pengolahan Data

3.1 Prosedur Eksperimen

Pengukuran dilakukan pada 50 subjek laki-laki dengan rentang usia 15 – 23 tahun dan variasi indeks massa tubuh (BMI), yaitu 12 subjek *underweight*, 28 subjek dengan BMI normal, dan 10 subjek *overweight*. Sebelum dilakukan pengukuran tinggi tubuh dan massa tubuh pada subjek, sistem pengukuran massa tubuh dikalibrasi dengan menempatkan objek yang telah ditentukan massanya, yaitu sebesar 1 kg pada *force platform*. Sedangkan sistem pengukuran tinggi tubuh dikalibrasi dengan mengosongkan ruang antara sensor ultrasonik dan *force platform* yang jaraknya telah ditentukan terlebih dahulu, yaitu sebesar 220 cm.

Pengujian keseimbangan tubuh, sekaligus pengukuran tinggi dan massa tubuh subjek, seperti yang ditunjukkan pada gambar 9, dilakukan dengan cara subjek mempertahankan posisi berdiri tegak selama 50 detik di atas *force platform* yang telah dipasang *load cell*. Subjek berdiri tanpa menggunakan alas kaki dengan kedua tumit sejajar dengan jarak antar tumit sepanjang 23 cm dan garis kaki menunjuk ke luar sebesar 15°. Tangan subjek diletakkan di sisi masing-masing dalam posisi natural dan mata subjek terbuka dan terfokus pada sebuah target yang ditempatkan di depan dengan jarak 1,2 m setinggi mata.



Gambar 9. Prosedur pengujian keseimbangan tubuh.

3.2 Pengolahan Data

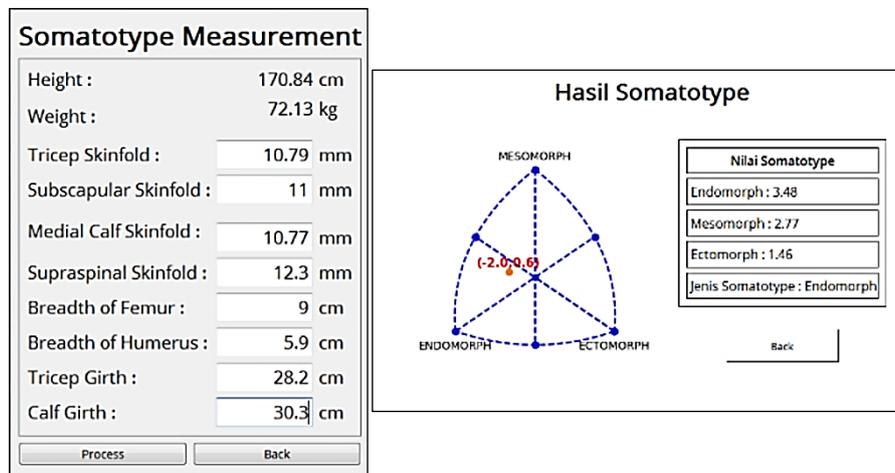
3.2.1 Pengukuran Somatotype dengan Rumus Heath-Carter

Pengukuran 8 parameter antropometri pada 50 subjek dilakukan dengan 3 kali pengulangan untuk setiap parameter. Nilai rata-rata dari 3 kali pengulangan diambil sebagai nilai masukan untuk perhitungan indeks massa tubuh (BMI). Pada tabel 1 ditunjukkan data antropometri untuk subjek 1 – 5. Berdasarkan pengukuran antropometri, tinggi tubuh, dan massa tubuh yang telah dilakukan, kelompok subjek pada penelitian ini memiliki rata-rata tinggi tubuh 166,72 cm, rata-rata massa tubuh 60,93 kg, serta nilai rata-rata indeks massa tubuh (BMI) sebesar 21,93.

Tabel 1. Pengukuran antropometri subjek 1 – 5

| Subjek ke- | Massa (kg) | Tinggi (cm) | Lipatan kulit (mm) | | | Lebar tulang (cm) | | Lingkar (cm) | | BMI & Kategori | |
|------------|------------|-------------|--------------------|--------------|-------------|-------------------|------|--------------|--------|----------------|---------------------|
| | | | Tricep | Sub scapular | Medial Calf | Supra spinal | Paha | Humerus | Tricep | | Betis |
| 1 | 63,79 | 172,88 | 8,00 | 10,00 | 5,33 | 10,30 | 8,43 | 6,37 | 28,70 | 35,00 | 21,34 (normal) |
| 2 | 45,88 | 173,52 | 4,00 | 3,33 | 4,70 | 2,70 | 8,60 | 6,30 | 22,10 | 29,80 | 15,21 (underweight) |
| 3 | 53,27 | 161,23 | 8,00 | 8,00 | 10,00 | 6,00 | 7,90 | 5,70 | 26,20 | 32,80 | 20,49 (normal) |
| 4 | 53,44 | 160,72 | 9,00 | 9,00 | 11,00 | 8,00 | 8,40 | 5,40 | 26,90 | 35,30 | 20,69 (normal) |
| 5 | 76,11 | 157,97 | 16,77 | 18,33 | 11,77 | 19,70 | 7,80 | 6,90 | 29,40 | 33,20 | 30,50 (overweight) |

Dari data perhitungan ini, kemudian dihitung nilai *endomorph*, *mesomorph*, dan *ectomorph* dari masing-masing subjek menggunakan rumus Heath-Carter (1) – (7). Pada gambar 10 ditunjukkan contoh *graphical user interface* (GUI) pengukuran *somatotype* dengan memasukkan nilai parameter-parameter antropometri. Subjek kemudian dikelompokkan menjadi tiga kelompok *somatotype* berdasarkan nilai terbesar dari masing-masing nilai jenis *somatotype*-nya seperti yang ditunjukkan pada tabel 2 untuk subjek 1 – 5.

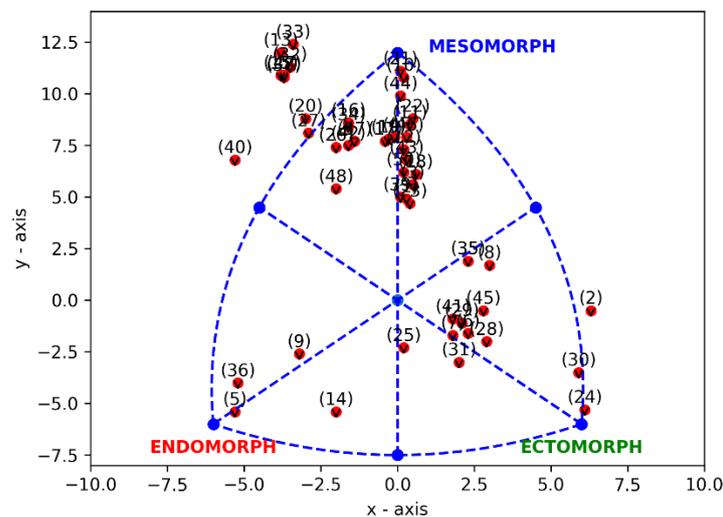


Gambar 10. *Graphical user interface* (GUI) pengukuran *somatotype*.

Tabel 2. Nilai dan penentuan jenis *somatotype* subjek 1 – 5

| Subjek ke-/BMI | Nilai Somatotype | | | Jenis Somatotype |
|-----------------------|------------------|-------------|-------------|------------------|
| | Endomorph | Mesomorph | Ectomorph | |
| 1/normal | 2,82 | 3,42 | 3,10 | <i>mesomorph</i> |
| 2/ <i>underweight</i> | 0,64 | 1,30 | 6,92 | <i>ectomorph</i> |
| 3/normal | 2,30 | 3,21 | 2,79 | <i>mesomorph</i> |
| 4/normal | 2,78 | 3,87 | 2,66 | <i>mesomorph</i> |
| 5/ <i>overweight</i> | 5,76 | 5,29 | 0,50 | <i>endomorph</i> |

Berdasarkan hasil perhitungan *somatotype*, subjek dengan jenis *somatotype endomorph* sebanyak 4 orang, *mesomorph* sebanyak 33 orang, dan *ectomorph* sebanyak 13 orang. Gambar 10 menunjukkan grafik penyebaran nilai *somatotype* untuk kelompok subjek pada penelitian ini, dengan sumbu X = *ectomorph* – *endomorph*, dan sumbu Y = $2 \times \text{mesomorph} - (\text{endomorph} - \text{ectomorph})$.

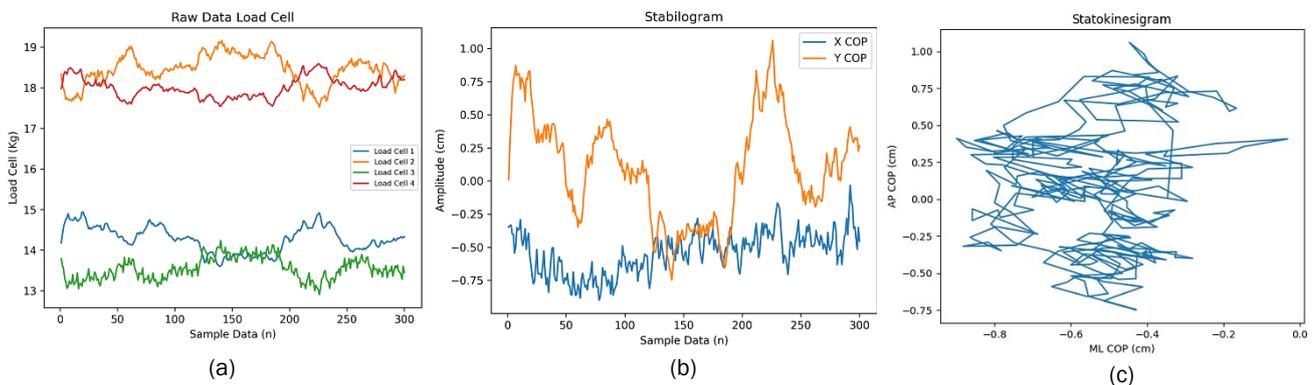


Gambar 10. Grafik penyebaran nilai *somatotype* dari 50 subjek pengukuran.

3.2.2 Pengukuran CoP dengan Force Platform

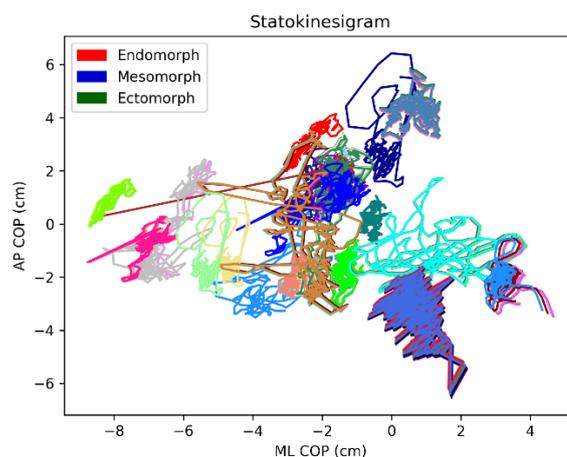
Pengukuran CoP menggunakan *force platform* dilakukan untuk melakukan penilaian keseimbangan tubuh, yaitu dengan menempatkan subjek dalam keadaan berdiri tegak dan diam (stasioner) di atas *force platform* yang dilakukan pada saat yang sama dengan pengukuran massa dan tinggi tubuh seperti yang ditunjukkan pada gambar 9. Berdasarkan konfigurasi *load cell* pengukuran CoP yang ditempatkan pada *force platform*, pengukuran CoP dilakukan pada dua arah, yaitu arah medial-lateral (ML) dan anterior-posterior (AP).

Raw data load cell pada masing-masing sisi *force platform* diolah untuk menentukan CoP, di mana sumbu X mewakili nilai massa yang terukur pada *load cell*, sedangkan sumbu Y mewakili sampel data ke-*n*, lihat gambar 11 (a). Nilai pusat tekanan (CoP) kemudian dihitung dari *raw data load cell* yang diperoleh, yaitu CoP terhadap sumbu X (medial-lateral/ML) dan CoP terhadap sumbu Y (anterior-posterior/AP) menggunakan rumus (9) dan (10). Nilai kedua CoP ini kemudian ditampilkan dalam deret waktu yang dikenal sebagai stabilogram, lihat gambar 11 (b). Stabilogram ini kemudian diolah lebih lanjut menjadi grafik sebaran nilai pusat tekanan (CoP) pada arah medial-lateral (ML) dan anterior-posterior (AP) pada sumbu Cartesian yang dikenal dengan statokinesigram, lihat gambar 11 (c). Gambar 11 merupakan contoh pengolahan data dari *raw data load cell* menjadi stabilogram dan statokinesigram untuk subjek dengan indeks massa tubuh (BMI) normal.



Gambar 11. Pengolahan data untuk subjek dengan BMI normal: (a) Grafik *raw data* dari *load cell*; (b) Stabilogram: Hasil pengukuran COP ML dan COP AP; (c) Statokinesigram.

Statokinesigram untuk keseluruhan 50 subjek pengukuran ditunjukkan pada gambar 12. Gradasi warna merah menunjukkan kelompok *somatotype endomorphic*, gradasi warna biru menunjukkan kelompok *somatotype mesomorphic*, serta gradasi warna hijau menunjukkan kelompok *somatotype ectomorphic*. Nilai *trajectory* CoP dengan variabilitas yang kecil mengindikasikan *body sway* yang lebih sedikit ketika menyeimbangkan postur tubuh. Sebaliknya, variabilitas yang besar mengindikasikan *body sway* yang lebih besar ketika menyeimbangkan tubuh.



Gambar 12. Statokinesigram untuk 50 subjek pengukuran.

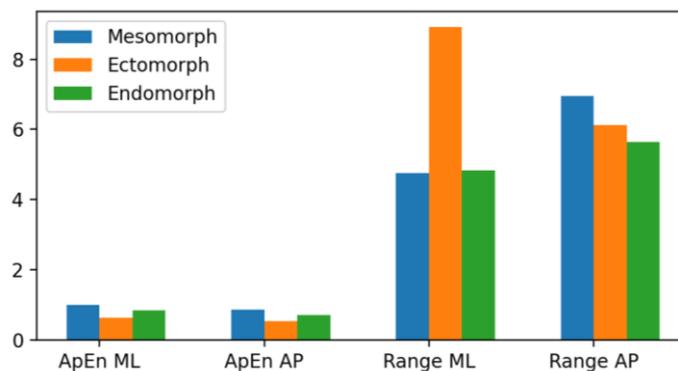
4 Analisis dan Pembahasan

Parameter statistik berupa *range* dan *approximate entropy* (ApEn) kemudian dihitung dari nilai CoP masing-masing subjek. Pada tabel 3 ditunjukkan hasil perhitungan nilai *range* dan ApEn untuk CoP pada arah medial-

lateral (ML) dan anterior-posterior (AP). Rangkuman nilai *range* dan ApEn untuk 50 subjek ditunjukkan pada grafik di gambar 13.

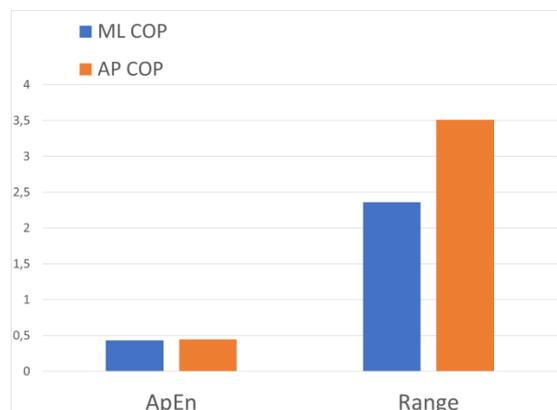
Tabel 3. Nilai *range* dan ApEn dari CoP arah ML dan AP pada subjek 1 – 5

| Subjek ke- | Massa (kg) | Tinggi (cm) | Kategori BMI | Somatotype | Range | | ApEn | |
|------------|------------|-------------|--------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|
| | | | | | ML CoP | AP CoP | ML CoP | AP CoP |
| 1 | 63,79 | 172,88 | normal | <i>mesomorphic</i> | 3,66 | 5,26 | 0,48 | 0,43 |
| 2 | 45,88 | 173,52 | <i>underweight</i> | <i>ectomorphic</i> | 5,11 | 4,72 | 0,64 | 0,55 |
| 3 | 53,27 | 161,23 | normal | <i>mesomorphic</i> | 1,28 | 1,73 | 0,31 | 0,37 |
| 4 | 53,44 | 160,72 | normal | <i>mesomorphic</i> | 1,08 | 2,61 | 0,36 | 0,38 |
| 5 | 76,11 | 157,97 | <i>overweight</i> | <i>endomorph</i> | 1,82 | 2,32 | 0,20 | 0,37 |



Gambar 13. Nilai ApEn dan *range* untuk COP ML dan COP AP untuk setiap kelompok *somatotype*.

Berdasarkan gambar 13, nilai ApEn hampir sama untuk ketiga kelompok *somatotype*, baik untuk arah medial-lateral (ML) maupun anterior-posterior (AP) dengan kecenderungan paling tinggi berturut-turut untuk kelompok *mesomorphic*, *endomorph*, dan *ectomorphic*. Sedangkan untuk nilai *range*, kelompok *ectomorphic* memiliki nilai *range* jauh lebih tinggi dibandingkan dengan dua kelompok *somatotype* lainnya pada arah medial-lateral (ML). Hasil ini menunjukkan bahwa kelompok *ectomorphic* memiliki ketidakstabilan paling tinggi dalam menyeimbangkan postur tubuh pada arah medial-lateral (ML) dibandingkan dua kelompok *somatotype* lainnya. Hal ini disebabkan karena pada kelompok *ectomorphic*, subjek memiliki kecenderungan tinggi tubuh lebih tinggi dan lebih kurus sehingga kemungkinan terjadinya *sway* menjadi lebih tinggi relatif terhadap letak CoP di batang tubuh. Selain itu, rasio yang besar antara tinggi dan massa tubuh menyebabkan distribusi sebagian massa tubuh berada pada posisi yang lebih tinggi dari pusat massa tubuh. Hasil ini sejalan dengan temuan beberapa penelitian sebelumnya yang mengemukakan kecenderungan serupa [21, 22].



Gambar 14. Nilai ApEn dan *range* untuk COP ML dan COP AP pada keseluruhan kelompok *somatotype*.

Selain itu, berdasarkan gambar 14, untuk semua kelompok *somatotype*, nilai ApEn dan *range* untuk CoP anterior-posterior (AP) lebih besar dibandingkan dengan CoP medial-lateral (ML). Hasil ini menunjukkan kecenderungan *body sway* yang lebih besar pada arah anterior-posterior dibandingkan pada arah medial-lateral.

Hal ini dapat dipahami bahwa gerakan medial-lateral umumnya sangat minim pada sendi pergelangan kaki dan lutut, serta lebih banyak derajat kebebasan pada arah anterior-posterior [27].

Dari sistem pengukuran *somatotype* dan CoP ini dapat diketahui bahwa morfologi tubuh yang ditunjukkan oleh parameter-parameter antropometrik dan *somatotype* mempengaruhi tingkat sway atau keseimbangan postur tubuh ketika berdiri, di mana kelompok *ectomorphic* menunjukkan kecenderungan sway paling tinggi di antara dua kelompok *somatotype* lainnya dengan tingkat sway yang lebih besar pada arah anterior-posterior (AP).

Pada rancangan sistem yang telah dibuat, alat ukur massa tubuh dengan sistem *load cell* memiliki rata-rata rentang galat sebesar 0,64 – 4,67%, sedangkan alat ukur tinggi tubuh dengan sensor ultrasonik memiliki rata-rata rentang galat sebesar 0,37 – 2,58%. Pengukuran keseimbangan tubuh dengan sensor *load cell* memiliki rentang galat 0,1 – 0,6% untuk nilai ApEn pada CoP ML dan 0% pada CoP AP. Nilai kesalahan yang relatif kecil pada nilai ApEn ini menunjukkan bahwa sistem pengukuran keseimbangan tubuh yang telah dirancang relatif stabil. Rentang selisih rata-rata CoP ML adalah 0,03 – 0,84 cm, sedangkan rata-rata untuk CoP AP sebesar 0,14 – 0,58 cm. Perbedaan tersebut menunjukkan adanya pergeseran titik pusat tekanan pada tubuh subjek ketika dilakukan pengukuran dibandingkan dengan keadaan sebelum pengukuran.

5 Kesimpulan

Pada rancangan sistem yang telah dibuat, alat ukur massa tubuh dengan sistem *load cell* memiliki rata-rata rentang galat sebesar 0,64 – 4,67%, sedangkan alat ukur tinggi tubuh dengan sensor ultrasonik memiliki rata-rata rentang galat sebesar 0,37 – 2,58%. Pengukuran keseimbangan tubuh dengan sensor *load cell* memiliki rentang galat 0,1 – 0,6% untuk nilai ApEn pada CoP ML dan 0% pada CoP AP. Nilai kesalahan yang relatif kecil pada nilai ApEn ini menunjukkan bahwa sistem pengukuran keseimbangan tubuh yang telah dirancang relatif stabil.

Dari sistem pengukuran *somatotype* dan CoP yang telah dirancang dapat diketahui bahwa morfologi tubuh yang ditunjukkan oleh parameter-parameter antropometrik dan *somatotype* mempengaruhi tingkat sway atau keseimbangan postur tubuh ketika berdiri diam (stasioner). Kelompok *ectomorphic* menunjukkan kecenderungan sway paling tinggi di antara dua kelompok *somatotype* lainnya karena memiliki kecenderungan tinggi tubuh lebih tinggi dan lebih kurus sehingga kemungkinan terjadinya sway menjadi lebih tinggi relatif terhadap letak CoP di batang tubuh. Selain itu, rasio yang besar antara tinggi dan massa tubuh menyebabkan distribusi sebagian massa tubuh berada pada posisi yang lebih tinggi dari pusat massa tubuh. Tingkat sway yang lebih besar terjadi pada arah anterior-posterior (AP) dibandingkan dengan arah medial-lateral (ML) karena gerakan medial-lateral umumnya sangat minim pada sendi pergelangan kaki dan lutut, serta lebih banyak derajat kebebasan pada arah anterior-posterior.

Untuk mengetahui pengaruh usia terhadap keseimbangan postur tubuh perlu dilakukan pengujian terhadap kelompok usia tertentu, misalnya pada kelompok usia anak-anak dan lansia.

6 Referensi

- [1] A. Shumway-Cook and M. H. Woollacott, *Motor Control: Theory and Practical Applications*, Baltimore: Williams & Wilkins, 1995.
- [2] G. Tharani, V. M. G. Vedha, N. C. V. Senthil, K. G. Mohan and K. Kamatchi, "Correlation between Body Weight and Postural Control in Healthy Individuals using Sway Meter," *Obesity and Metabolism*, vol. XVI, no. 2, pp. 36-41, 2019.
- [3] A. Samaei, A. H. Bakhtiary and A. Hajihassani, "Endomorphs Shows Higher Postural Sway than Other Somatotypes Subjects," *Middle East J Rehabil Health*, vol I, no. 2, pp. 1-6, 2014.
- [4] World Health Organization, "Falls, Key Facts," 26 April 2021. [Online] Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/falls#:~:text=Each%20year%20an%20estimated%20684,medical%20attention%20occur%20each%20year.> [Accessed 29 August 2022].
- [5] S. Grobe, R. S. Kakar, M. L. Smith, R. Mehta, T. Baghurst and A. Boolani, "Impact of Cognitive Fatigue on Gait and Sway among Older Adults: A Literature Review," *Preventive Medicine Reports*, vol VI, pp. 88-93, 2017.
- [6] I. Volker, C. Kirchner, O. L. Bock and E. Wascher, "Body Sway as a Possible Indicator of Fatigue in Clerical Workers," *Safety and Health at Work*, vol VI, pp. 206-210, 2015.
- [7] M. A. Hoffman and D. M. Koceja, "Dynamic Balance Testing with Electrically Evoked Perturbation: A Test of Reliability," *Archive of Physical medicine and Rehabilitation*, vol. LXXVIII, no. 3, pp. 290-293, 1997.

- [8] S. Setiati, P. W. Laksmi, I. G. P. S. Aryana, S. Sunarti, N. Widajanti, L. Dwipa, E. Seto, R. Istanti, L. J. Ardian and S. C. Chotimah, "Frailty State among Indonesian Elderly: Prevalence, Associated Factors, and Frailty State Transition," *BMC Geriatrics*, vol. XIX, pp. 1-10, 2019.
- [9] J. Browne and N. O'Hare, "Review of the Different Methods for Assessing Standing Balance," *Physiotherapy*, vol. LXXXVII, no. 9, pp. 489-495, 2001.
- [10] M. A. G. Fauzi, H. Mukhtar and D. Rahmawati, "Assessment of Postural Stability Using an Affordable and Simple Force Platform," in *IEEE 7th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Applications*, Bandung, 2021.
- [11] B. A. Alqahtani, P. J. Sparto, S. L. Whitney, S. L. Greenspan, S. Perera and J. S. Brach, "Psychometric Properties of Instrumented Postural Sway Measures Recorded in Community Settings in Independent Living Older Adults," *BMC Geriatrics*, vol. XX, no. 82, pp. 1-10, 2020.
- [12] F. Quijoux, A. Nicolai, I. Chairi, I. Bargiotas, D. Ricard, A. Yelnik, L. Oudre, F. Bertin-Hugault, P-P. Vidal, N. Vayatis, S. Buffat and J. Audiffren, "A Review of Center of Pressure (COP) Variables to Quantify Standing Balance in Elderly People: Algorithms and Open-access-code," *Physiol Rep.*, vol. IX, no. 22, pp. 1-32, 2021.
- [13] J. DeBerardinis, C. Neilsen, D. E. Lidstone, J. S. Dufek and M. B. Trabia, "A Comparison of Two Techniques for Center of Pressure Measurement," *Journal of Rehabilitation and Assisstive Technologies Engineering*, vol. VII, pp. 1-12, 2020.
- [14] C. W. Huang, P. D. Sue, M. F. Abbod, B. C. Jiang and J. S. Shieh, "Measuring Center of Pressure Signals to Quantify Human Balance using Multivariate Multiscale Entropy by Designing a Force Platform," *Sensors*, vol. XIII, pp. 10151-10166, 2013.
- [15] L. H. Sloot, H. Houdijk and J. Harlaar, "A Comprehensive Protocol to Test Instrumented Treadmills," *Med Eng Phys*, vol. XXXVII, pp. 610-616, 2015.
- [16] Z. Svodoba, L. Bizovska, M. Janura, E. Kubonova, K. Janurova and N. Vuillerme, "Variability of Spatial Temporal Gait Parameters and Center of Pressure Displacements during Gait in Elderly Fallers and Nonfallers: A 6-Month Prospective Study," *PLOS One*, vol. XII, no. 2, pp. 1-11, 2017.
- [17] F. B. Horak, "Clinical Assessment of Balance Disorders," *Gait and Posture*, vol. VI, no. 1, pp. 76-84, 1997.
- [18] G. A. Stylianides, G. Dalleau, M. Begon, C-H. Rivard and P. Allard, "Pelvic Morphology, Body Posture and Standing Balance Characteristics of Adolescent Able-bodied and Idiopathic Scoliosis Girls," *PLoS ONE*, vol. VIII, no. 7, pp. 1-6, 2013.
- [19] W. A. Sheldon, *Atlas of Men, A Guide for Somatotyping the Adult Male at All Ages*, New York: Gramercy Publishing Company, 1954.
- [20] K. Das, K. Mukherjee, S. Ganguli, S. Pal and S. S. Bagchi, "The Association between Somatotype and Nutritional Status: A Cross-sectional Study among the Adult Sabar Males of Purulia, West Bengal, India" *International Journal of Anthropology and Ethnology*, vol. V, no. 5, pp. 1-16, 2021.
- [21] P. Allard, M. L. Nault, S. Hinse, R. LeBlanc and H. Labelle, "Relationship between Morphologic Somatotypes and Standing Posture Equilibrium," *Ann. Hum. Biology*, vol. XXVIII, no. 6, pp. 624-633, 2001.
- [22] I. Farenc, P. Rougier and L. Berger, "The Influence of Gender and Body Characyeristics on Upright Stance," *Ann. Hum. Biology*, vol. XXX, no. 3, pp. 279-294, 2003.
- [23] A. C. Alonso, L. Mochizuki, N. M. S. Luna, S. Ayama, A. C. Canonica and J. M. D. A. Greve, "Relation between the Sensory and Anthropometric Variables in the Quiet Standing Postural Control: Is the Inverted Pendulum Important for the Static Balance control? ," *BioMed Research International*, vol. MMXV, pp. 1-5, 2015.
- [24] J. M. D. A. Greve, M. Cug, D. Dulgeroglu, G. C. Brech, and A. C. Alonso, "Relationship between Anthropometric Factors, Gender, and Balance under Unstable Conditions in Young Adults," *Biomed Res. Int.*, vol. MMXIII, no. 6, pp. 1-5, 2013.
- [25] J. L. Boldsen, J. E. L. Carter and B. H. Heath, "Somatotyping: Development and Applications," *Man*, vol. XXVI, no. 3, pp. 558, 1991.
- [26] Y. Zhu, "Design and Validation of a Low-cost Portable Device to Quantify Postural Stability," *Sensors*, vol. XVII, no. 3, pp. 619-630, 2017.
- [27] M. S. Valle, A. Casabona, A. Fiumara, D. Castiglione, G. Sorge and M. Cioni, "Quantitative Analysis of Upright Standing in Adults with Late-onset Pompe Disease," *Sci. Rep.*, vol. VI, no. 3, pp. 1-13, 2016.