

RANCANG BANGUN ALAT UKUR SUDUT PUNGGUNG UNTUK MEMPERMUDAH PERHITUNGAN RULA MENGGUNAKAN MPU-6050

Fahmi Andriansyah¹⁾ Susijanto Tri Rasmana²⁾ Weny Indah Kusumawati³⁾

Program Studi/Jurusan Teknik Komputer
Universitas Dinamika

Jl. Raya Kedung Baruk 98 Surabaya, 60298

Email: 1)andriansite@gmail.com, 2)susyanto@dinamika.ac.id, 3)weny@stikom.ac.id

Abstrak: Pekerjaan dengan posisi badan yang salah dan perancangan alat yang tidak ergonomis mengakibatkan pengerahan tenaga yang berlebihan dan beresiko terjadinya keluhan muskuloskeletal dan kelelahan dini. *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) merupakan suatu metode perhitungan untuk mengetahui kesalahan sikap badan saat melakukan pekerjaan. Adapun proses perhitungan metode *Rapid Upper Limb Assessment* sampai saat ini adalah dengan menggunakan pengambilan gambar menggunakan kamera untuk kemudian dilakukan perhitungan sudut pada setiap posisi kerja dengan teknik *antropometri*. Dengan demikian diperlukan alat yang mampu membaca perubahan sudut badan bagian atas untuk mempermudah perhitungan pada metode *Rapid Upper Limb Assessment*. Penelitian ini berfokus pada alat ukur sudut punggung yang mampu bekerja dengan membaca perubahan sudut punggung saat melakukan pekerjaan. Data sudut punggung yang diperoleh sensor MPU6050 diklasifikasikan kedalam nilai skor sesuai ketentuan *Rapid Upper Limb Assessment*. Keluaran alat ukur dan interval waktu posisi badan saat bekerja disimpan pada database MySQL, dan ditampilkan melalui *website* lokal. Dari hasil pengujian *noise* alat ukur, didapatkan perolehan nilai sudut menggunakan *complementary filter* lebih baik daripada menggunakan data *roll* dengan nilai alfa sebesar 0.93. Nilai *delay* pengiriman data dari *microcontroller* menuju database sebesar 0 dalam satuan detik. Alat ukur dapat mendeteksi sudut tegak pada tubuh manusia dengan rata-rata nilai pengujian sebesar 0.687° . Dari hasil pengujian didapatkan nilai rata-rata simpangan pengujian sudut saat badan tidak tegak sebesar 0.575° , alat ukur dapat mengklasifikasikan sudut berdasarkan skor *Rapid Upper Limb Assessment*. Dengan demikian alat ukur sudut punggung diharapkan mampu mempermudah perhitungan sudut *Rapid Upper Limb Assessment*.

Kata Kunci: MySQL, MPU6050, DS1307, RULA, Musculoskeletal Disorder

PENDAHULUAN

Muskuloskeletal disorder adalah suatu permasalahan sikap yang sering ditemui ditempat kerja, terutama yang berhubungan dengan ketahanan dan kekuatan tubuh manusia saat bekerja. Para pekerja yang melakukan gerakan yang sama dan mengulang secara terus menerus sering kali mengalami masalah tersebut. Perancangan alat yang tidak ergonomi dan pekerjaan dengan beban berat yang mengakibatkan penggunaan tenaga badan secara berlebihan dan posisi badan yang salah seperti membungkuk, memutar dan membawa beban dapat memicu terjadinya keluhan *muskuloskeletal* dan kelelahan badan (Pangaribuan, 2009). Karena gangguan pada

otot punggung (*low back pain*), diperkirakan setidaknya 70% manusia menderita sakit punggung, baik kronis maupun sporadis. Di Negara Inggris melaporkan 17.3 juta orang di Inggris pernah mengalami nyeri punggung pada suatu waktu, dan dari jumlah tersebut 1.1 juta mengalami kelumpuhan akibat nyeri punggung. Di Indonesia jumlah penderita LBP diperkirakan antara 7.6% sampai 37% dari jumlah penduduk yang ada di Indonesia (Lailani, 2013). Bahkan pada masalah yang serius kesalahan sikap kerja dapat menyebabkan skoliosis yang merupakan kelainan tulang punggung sampai membentuk huruf C atau S (Sugianto, 2013).

Sampai saat ini banyak penelitian melakukan percobaan untuk menganalisa postur

kerja, salah satunya menggunakan RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*). RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*) adalah metode penelitian untuk menginvestigasi kesalahan pada anggota badan atas (Wicaksana, 2017). Metode RULA dihitung dengan menggunakan tabel dari posisi tubuh dan tiga tabel untuk menetapkan skor dan nilai evaluasi faktor resiko. Faktor resiko diinvestigasi sebagai 5 faktor beban eksternal yaitu: tenaga/kekuatan, jumlah pergerakan, penentuan posisi kerja, kerja otot *static*, waktu kerja tanpa istirahat (Rumbekwan, 2016).

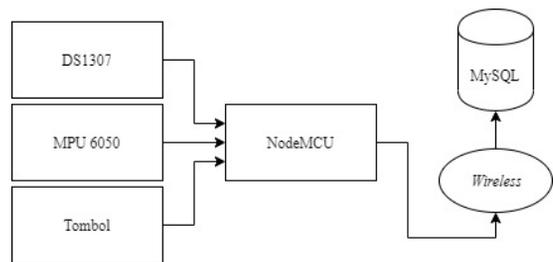
Adapun proses perhitungan metode RULA sampai saat ini adalah dengan melakukan pengukuran *antropometri* tubuh. *Antropometri* dicatat melalui pengambilan gambar dengan kamera untuk kemudian dilakukan perhitungan sudut pada setiap posisi kerja menggunakan busur (Oesman, 2019). Dengan demikian nilai perhitungan yang didapatkan masih kurang akurat karena tidak semua posisi kerja dapat terfoto oleh kamera dan kemiringan kamera dapat berpengaruh pada hasil perhitungan, sehingga diperlukan alat yang mampu membaca perubahan sudut punggung untuk mempermudah perhitungan metode RULA.

Alat ukur sudut punggung merupakan suatu alat pengukur sudut/ derajat perubahan posisi pada salah satu anggota badan bagian atas yaitu punggung, yang dirancang menggunakan sensor MPU-6050 dengan keluaran dalam satuan derajat. MPU-6050 merupakan modul yang dilengkapi dengan *accelerometer* dan *gyroscope*. *Accelerometer* sering digunakan untuk menghitung sudut kemiringan, dan hanya dapat melakukan dengan nyata ketika statis dan tidak bergerak. Agar mendapatkan sudut akurat kemiringan, *accelerometer* dapat dikombinasikan dengan *gyroscope* dan kombinasi data yang digunakan saat menghitung sudut, sehingga nilai sudut yang didapatkan lebih akurat (Firman, 2016).

Alat ukur sudut punggung ditempatkan pada punggung bagian atas, sehingga dapat membaca perubahan sudut secara otomatis. Selanjutnya data sudut dalam satuan derajat dikirimkan ke database berdasarkan interval waktu perubahan sudut. Nilai perubahan sudut punggung tersebut dapat digunakan sebagai data untuk melengkapi salah satu tabel RULA, khususnya pada trunk tabel. Dengan adanya alat ini diharapkan dapat mempermudah tenaga medis untuk melakukan analisis postur kerja menggunakan metode RULA.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan ini adalah membuat kombinasi dari sistem yang dirancang dengan menggunakan NodeMCU sebagai *microcontroller* yang memproses data dari *input* berupa MPU6050 sebagai sensor sudut, DS1307 untuk mendapatkan nilai waktu, dan sebuah tombol untuk memulai perhitungan. Data hasil perhitungan dikirim oleh *microcontroller* ke database MySQL untuk selanjutnya ditampilkan pada *website* lokal.



Gambar 1. Diagram blok alat ukur sudut punggung

Sikap Kerja

Keluhan nyeri punggung bawah mempunyai hubungan dengan sikap kerja. Menurut hasil kajian pustaka didapatkan bahwa sikap kerja yang canggung, di luar kebiasaan, dan salah menambah risiko cedera/kesalahan pada bagian sistem *muscoloskeletal* (Astuti, 2019). Pernyataan tersebut juga didukung hasil penelitian Diana Samara tentang posisi kerja memutar dan membungkuk saat bekerja sebagai penyebab risiko nyeri punggung, menunjukkan bahwa postur kerja membungkuk $>60^\circ$ mendapatkan risiko lebih besar terhadap nyeri punggung sebesar 2.68 kali apabila dibandingkan dengan pekerja/karyawan dengan postur badan tegak (Samara, 2004).

Rapid Upper Limb Assessment

Rapid Upper Limb Assessment yang disingkat RULA adalah teknik penelitian untuk menginvestigasi kesalahan pada anggota badan atas (Wicaksana, 2017). Metode ini dibangun oleh Lynn Mc Atamney dan Nigel Corlett (1993) dengan menyediakan perhitungan tingkat beban *musculoskeletal* dalam suatu pekerjaan yang beresiko pada bagian tubuh dari leher sampai perut serta anggota badan bagian atas lainnya.

Dalam menetapkan penilaian postur leher, lengan atas, dan punggung, teknik ini tidak butuh peralatan spesial. Setiap pergerakan didapatkan skor yang telah ditetapkan. RULA dikembangkan

sebagai suatu teknik untuk membaca postur kerja yang memiliki resiko terhadap permasalahan beban *musculoskeletal* yang dapat menimbulkan kesalahan pada anggota badan bagian atas dan menilai sikap para pekerja (Pangaribuan, 2009).

MPU6050

MPU6050 adalah produk sensor MEMS *Motion Tracking* yang dibangun oleh Invensense. MPU6050 adalah sebuah IC yang terdiri dari *gyroscope* dan *accelerometer* digital yang memiliki 3 axis. *Accelerometer* dan *gyroscope* yang ada pada MPU6050 memiliki bit sebanyak 16 bit keluaran digital yang didapat s melalui jalur *interface SPI* atau *I2C*.

Accelerometer

Accelerometer merupakan suatu sensor yang digunakan untuk mendeteksi, mengukur getaran dan mengukur percepatan gravitasi bumi, dan dapat digunakan untuk menghitung nilai perubahan dan mendeteksi perubahan kemiringan/posisi suatu *device*. *Accelerometer* dapat mengukur kemiringan dengan perubahan nilai *pitch* dan *roll* dengan rumus sebagai berikut (Hidayat, 2014).

$$Roll = \arctan\left(\frac{y}{z}\right) \times \left(\frac{360}{2\pi}\right) \quad (1)$$

Keterangan:

y = Percepatan gravitasi sumbu y (satuan g)

z = Percepatan gravitasi sumbu z (satuan g)

Gyroscope

Gyroscope yang digunakan pada perancangan alat ini adalah *gyroscope* digital yang terdapat didalam sensor MPU6050. Sensor MPU6050 memiliki skala pembacaan *gyroscope* maksimal yang dapat disesuaikan dan dipilih sesuai kebutuhan, anatar lain; 250 °/sec, 500 °/sec, 1000 °/sec, dan 2000 °/sec. Sensor *gyroscope* dalam modul MPU6050 telah memiliki keluaran ADC (*Analog to Digital*) sebesar 16 bit, dengan demikian untuk melakukan konversi kecepatan sudut, keluaran harus dibagi dengan faktor yang disesuaikan pada setiap skala yang dipilih seperti pada tabel berikut.

Tabel 1. Faktor Pembagi MPU 6050

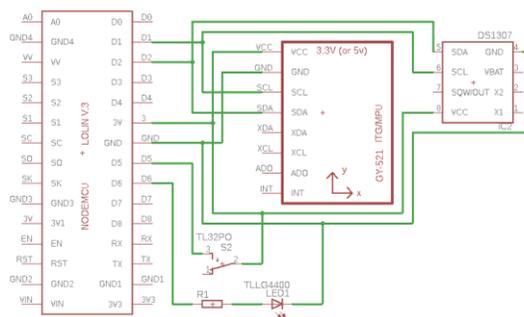
No	Skala	Pembagi
1	250 %	131 LBS/deg/s
2	500 %	65,5 LBS/deg/s
3	1000 %	32,8 LBS/deg/s
4	2000 %	6,4 LBS/deg/s

Dengan demikian, konversi data dari keluaran ADC 16 bit *gyroscope* ke satuan derajat/*second* dapat dirumuskan:

$$\omega = \text{Keluaran ADC} / \text{Faktor Pembagi} \quad (2)$$

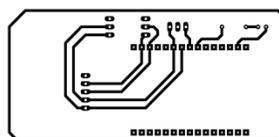
keterangan, ω = Kecepatan sudut (deg/s atau °/s) (Hidayat, 2014).

Perancangan Elektronika

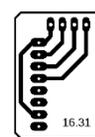


Gambar 2. Perancangan Hardware

Pada perancangan perangkat keras tersebut MPU6050 GY 521 dihubungkan dengan topologi bus terhadap DS1307, hal tersebut dilakukan karena NodeMCU hanya memiliki sepasang port SDA dan SCL, sehingga diperlukan topologi yang dapat menerima data dari 2 (dua) modul sensor secara serial. Pin AD0 pada MPU6050 dihubungkan dengan VCC untuk mendapatkan *modul address* yang berbeda dengan DS1307. Dari skema rangkaian hardware tersebut didapat skema rangkaian PCB dan hasil penerapan rangkaian seperti gambar berikut.

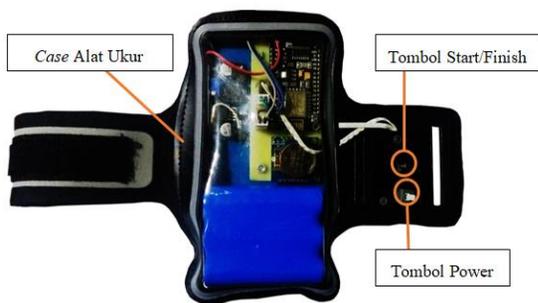


Gambar 3. Skema PCB Microcontroller



Gambar 4. Skema PCB MPU 6050

Implementasi Desain Alat



Gambar 5. Implementasi desain *Microcontroller*

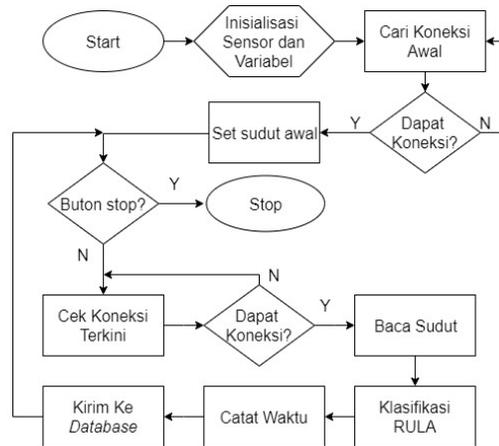
Pada gambar 5 terdapat tombol power yang berfungsi untuk mehidupkan maupun mematikan alat dan tombol start/finish yang digunakan untuk memulai dan mengakhiri pengukuran sudut punggung. Desain *packaging* alat ukur dirancang seperti handband untuk mempermudah pergerakan pengguna.



Gambar 6. Implementasi desain alat ukur

Pada gambar 6 alat ukur sudut punggung dirancang sedemikian rupa untuk mendapatkan nilai sudut punggung yang tepat, alat ukur sudut punggung dilengkapi dengan rompi/korset yang ditempatkan sensor MPU6050 dibagian punggung, selain untuk mendapatkan sudut yang akurat rompi tersebut juga berfungsi sebagai penagak punggung dan penjaga postur tubuh.

Perancangan Alur Program



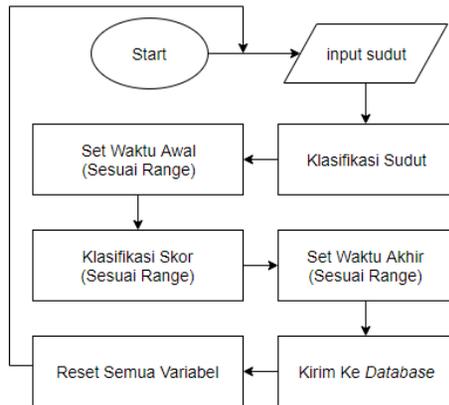
Gambar 7. Alur program

Algoritma alat ukur sudut punggung dimulai dengan menginisiasi sensor MPU 6050, RTC DS1307, dan mendeklarasikan beberapa variabel untuk membantu perhitungan sistem. Selanjutnya sistem mencari koneksi *wireless* yang digunakan sebagai media komunikasi antara alat dengan database lokal. Waktu awal perhitungan terhitung sejak alat mendapatkan koneksi *wireless* yang selanjutnya membaca sudut punggung melalui input dari MPU 6050 yang merupakan set data awal pembacaan sudut.

Data sudut yang terbaca MPU 6050 dikelompokkan berdasarkan klasifikasi skor *Rapid Upper Limb Assessment*. Sistem mencatat waktu yang dibutuhkan untuk bertahan dalam suatu *range* dimulai waktu awal memasuki *range* sampai berpindah ke *range* lain dengan menggunakan DS1307. Ketika terjadi perubahan *range* sudut punggung, maka sistem mengirimkan data berupa data skor dan interval waktu ke *database* MySQL melalui komunikasi *wireless*, apabila tombol stop ditekan, maka perhitungan diakhiri.

Perancangan Klasifikasi Skor RULA

Penentuan skor perubahan sudut punggung didapatkan berdasarkan ketentuan klasifikasi metode *Rapid Upper Limb Assessment* dibagi menjadi 4 tahapan, yaitu skor pada sudut 0° , 1° - 20° , 20° - 60° dan $>60^\circ$. Alur klasifikasi dijelaskan berdasarkan beberapa tahapan seperti berikut:



Gambar 8. Alur klasifikasi skor RULA

Alur klasifikasi skor RULA seperti pada gambar 8 dapat dijelaskan bahwa data masukan berupa sudut diklasifikasikan terlebih dahulu oleh sistem. Proses klasifikasi dibedakan menjadi 4 bagian yakni 0° , 1° - 20° , 20° - 60° dan $>60^\circ$. Setelah data sudut dipetakan, maka sistem mencatat waktu awal untuk suatu bagian klasifikasi. Selanjutnya diberikan skor 1 untuk 0° , Skor 2 untuk 1° - 20° , skor 3 untuk 20° - 60° dan skor 4 untuk sudut $>60^\circ$. Apabila *input* sudut sudah tidak lagi memasuki *range* sebelumnya, maka sistem mencari nilai *delta time* dengan mencari selisih waktu terakhir sudut yang terbaca dalam suatu *range* dengan waktu awal dalam suatu *range* yang sama. Data sudut, *delta time*, waktu awal, dan waktu akhir dikirimkan oleh sistem ke *database* dan selanjutnya me-*reset* semua variabel yang digunakan untuk menyimpan nilai yang telah dikirim tersebut.

Implementasi Tampilan Website

Perancangan web lokal berfungsi untuk menampilkan data hasil perhitungan yang meliputi menu abstrak, *update*, dan *between*. Abstrak merupakan informasi tentang ringkasan fungsi dari alat ukur sudut punggung. *Update* adalah menu yang dapat menampilkan seluruh proses perhitungan yang didapatkan oleh alat ukur, sedangkan *between* adalah menu yang menampilkan data sesuai keinginan pengguna berdasarkan waktu. Berikut adalah tampilan web lokal untuk menampilkan informasi alat ukur.

Update Perhitungan

Berikut adalah nilai update perhitungan alat ukur sudut punggung menggunakan MPU6050

ID Update	Range	Skor	Waktu Awal	Waktu Akhir	Delta Time
1	>60	4	14:23:54	14:24:9	15
2	1-20	2	14:24:10	14:24:19	9
3	>60	4	14:24:19	14:24:46	27

Gambar 9. Tampilan menu *Update*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian RTC

Hasil Pengujian RTC menggunakan DS1307 menunjukkan program yang dikirim berhasil dijalankan dengan baik dan mendapatkan nilai waktu terkini dengan akurat. Berdasarkan pengujian DS1307 disimpulkan dapat berfungsi dengan baik dan tepat.

Pengujian Pengiriman ke Database

Pengujian dilakukan dengan meng-*upload* program untuk mengetahui keberhasilan pengiriman data ke *database* MySQL dan menampilkan data pada serial monitor. Berdasarkan hasil pengujian pengiriman data didapatkan nilai sebagai berikut.

Tabel 2. *Delay* pengujian pengiriman *Database*

No	Waktu Mengirim (Serial Monitor)	Waktu Terima (MySQL)	Time Delay
1	23:18:44	23:18:44	0
2	23:18:49	23:18:49	0
3	23:18:54	23:18:54	0
4	23:18:59	23:18:59	0
5	23:18:04	23:18:04	0
6	23:18:10	23:18:10	0
7	23:18:15	23:18:15	0
8	23:18:20	23:18:20	0
9	23:18:25	23:18:25	0
10	23:18:30	23:18:30	0
Rata-Rata			0

Dikarenakan MySQL hanya mampu membaca nilai waktu maksimal dalam satuan detik, maka analisis proses pengirimian data didasarkan pada skala satuan detik. Berdasarkan pengujian pengiriman data yang terdapat pada tabel 1, pengiriman data dinyatakan dapat berfungsi dengan baik dan tidak terdapat permasalahan tentang *delay* pengiriman data ke *database* dengan rata-rata *time delay* sebesar 0 dalam satuan detik.

Pengujian Noise Sudut

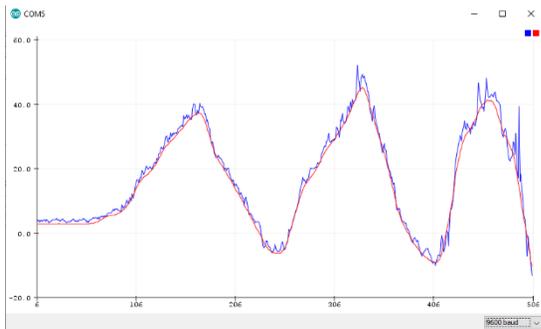
Pengujian dilakukan dengan mencari nilai perubahan sudut terbaik melalui perbandingan metode *complementary filter* dan perubahan sudut yang didapat dari data *roll* menggunakan sensor

MPU6050. Berikut adalah rumus penggunaan *complementary filter*:

$$\text{sudut} = 0.93 * (\text{sudut} + (\text{gyro} * dt)) + 0.07 * (\text{roll}) \quad (3)$$

(V.P. Kodgirwar, 2014)

Dari hasil pengujian noise perhitungan sudut melalui perbandingan data roll dengan *complementary filter* didapatkan grafik seperti pada gambar 12 sebagai berikut.



Gambar 10. Grafik pengujian sudut

Keterangan:

Grafik biru = data *roll* (°)

Grafik Merah = sudut *complementary filter* (°)

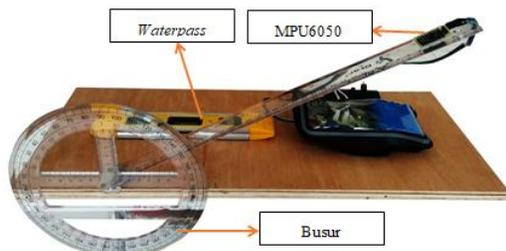
Sumbu x = waktu proses (ms)

Sumbu y = parameter sudut (°)

Pada visualisasi data sudut tersebut dapat dilihat bahwa grafik biru memiliki noise yang tinggi, sedangkan grafik merah memiliki noise minimum, sehingga dapat disimpulkan metode *complementary filter* lebih baik untuk digunakan pada penelitian ini.

Ketepatan Sudut

Pengujian ketepatan sudut dilakukan dengan membandingkan sudut yang didapatkan oleh MPU6050 dengan perhitungan manual menggunakan busur sudut/*goniometer*. Alat pembandingan perhitungan sudut yang didapatkan oleh alat ukur adalah berupa busur seperti pada gambar 13.



Gambar 11. Busur pembandingan sudut alat ukur

Setiap sudut dilakukan pengujian sebanyak 5 kali untuk didapatkan rata-rata dengan rumus sebagai berikut.

$$\frac{\text{hasil uji ke 1} + \text{ke 2} + \text{ke 3} + \text{ke 4} + \text{ke 5}}{\text{jumlah pengujian}}$$

Dari 14 kali pengujian sudut didapatkan nilai seperti pada tabel 2.

Tabel 3. Pengujian sudut

No	Sudut Busur	Pengujian Ke-	Sudut MPU6050	Waktu Stopwatch	Rata Sudut (°)	error (°)
1	0°	1	0°	10 detik	0	0
		2	0°			
		3	0°			
		4	0°			
		5	0°			
2	5°	1	5°	10 detik	5	0
		2	5°			
		3	5°			
		4	5°			
		5	5°			
3	10°	1	10°	10 detik	10	0
		2	10°			
		3	10°			
		4	10°			
		5	10°			
4	15°	1	15°	10 detik	15	0
		2	15°			
		3	15°			
		4	15°			
		5	15°			
5	20°	1	20°	10 detik	19,8	0,2
		2	20°			
		3	19°			
		4	20°			
		5	20°			
6	25°	1	25°	10 detik	25	0
		2	25°			
		3	25°			
		4	25°			
		5	25°			
7	30°	1	30°	10 detik	30	0
		2	30°			
		3	30°			
		4	30°			
		5	30°			
8	35°	1	35°	10 detik	34,8	0,2
		2	35°			
		3	35°			
		4	35°			
		5	34°			
9	40°	1	40°	10 detik	40	0
		2	40°			
		3	40°			
		4	40°			
		5	40°			
10	45°	1	45°	10 detik	45	0
		2	45°			
		3	45°			
		4	45°			
		5	45°			
11	50°	1	50°	10 detik	50	0
		2	50°			
		3	50°			
		4	50°			
		5	50°			

No	Sudut Busur	Pengujian Ke-	Sudut MPU6050	Waktu Stopwatch	Rata Sudut (°)	error (°)
12	55°	1	55°	10 detik	55	0
		2	55°			
		3	55°			
		4	55°			
		5	55°			
13	60°	1	60°	10 detik	60	0
		2	60°			
		3	60°			
		4	60°			
		5	60°			
14	65°	1	65°	10 detik	65	0
		2	65°			
		3	64°			
		4	66°			
		5	65°			
Rata-rata simpangan pengujian					0,0286	

Implementasi Pada Tubuh

Pengujian dilakukan dengan mendeteksi sudut yang didapatkan ketika manusia berdiri dengan tegak. Pada tahap pengujian ini, penulis mengambil data dari 30 responden untuk mengetahui rata-rata sudut tubuh yang didapatkan ketika pada posisi tegak. Penulis membatasi responden yang dipilih adalah yang memiliki berat badan 45-55 Kg disesuaikan dengan ukuran korset. Berikut adalah contoh penggunaan alat pada sudut tegak tubuh manusia.



Gambar 12. Penggunaan alat

Hasil pengujian sudut tegak 30 responden, alat ukur sudut punggung memperoleh nilai rata-rata pengujian sudut tegak sebesar 0,687°. Jika didasarkan pada perbandingan antara ketelitian metode RULA sebesar 1° dan nilai rata-rata pengujian sudut tegak kurang dari 1°, maka disimpulkan alat ukur telah memenuhi kriteria ketelitian sudut RULA. Dari pengujian sudut tegak, dilakukan pengujian sudut 20°, 45°, 60°, dan 70° sebagai berikut.



Gambar 13. Pengujian 20°



Gambar 14. Pengujian 45°



Gambar 15. Pengujian 60°



Gambar 16. Pengujian 70°

Dari data pengujian berdasarkan sudut tersebut didapatkan hasil seperti pada tabel 5.

Tabel 4. Hasil perhitungan kemiringan sudut

No	Parameter Sudut	Hasil Antropometri	Hasil	Rata - rata	Simpangan rata-rata
1	20°	20°	20°	20,2°	0,2
			19°		
			21°		
			21°		
			20°		
2	45°	45°	45°	45,8°	0,3
			46°		
			47°		
			46°		
			46°		
3	60°	60°	61°	61°	1°
			61°		
			60°		
			60°		
			63°		
4	70°	70°	70°	70,8°	0,8°
			72°		
			71°		
			70°		
			71°		
Rata-rata simpangan pengujian				0,575°	

Dari perolehan diatas didapatkan nilai rata-rata simpangan pengujian sudut saat badan tidak tegak sebesar 0.575°. Dengan simpangan tersebut dapat disimpulkan bahwa alat ukur sudut punggung dapat mendeteksi sudut badan sesuai dengan

pergerakan badan dan dapat diimplementasikan sebagaimana mestinya.

Ketahanan dan Kontinuitas Alat Ukur

Pengujian ketahanan dan kontinuitas alat ukur dilakukan dengan melibatkan responden yang merupakan pekerja/karyawan pada saat melakukan pekerjaan. Berikut penulis sertakan gambar saat melakukan pengujian ketahanan dan kontinuitas alat ukur dan juga hasil yang didapatkan dari pengujian ini.



Gambar 17. Responden 1 Gambar 18. Responden 2

Dari pengujian tersebut alat ukur dapat bertahan dan melakukan proses perhitungan maupun pengiriman data ke database selama 30 menit tanpa berhenti, hasil keseluruhan data dicantumkan oleh penulis pada lampiran. Berikut adalah tabel kutipan dari keseluruhan data yang didapatkan pada tahap pengujian.

Tabel 5. Hasil pengujian responden 1

id_update	range_update	skor_update	awal_update	akhir_update	dt_update
1	1-20	2	15:04:30	15:04:35	5
2	>60	4	15:04:40	15:04:44	4
3	<0	0	15:04:52	15:05:00	8
4	>60	4	15:05:01	15:05:05	4
5	1-20	2	15:05:07	15:05:09	2
.
.
86	<0	0	15:34:21	15:34:34	13

Tabel 6. Hasil pengujian responden 2

id_update	range_update	skor_update	awal_update	akhir_update	dt_update
1	<0	0	15:20:42	15:20:58	16
2	1-20	2	15:20:59	15:22:35	96
3	20-60	3	15:22:35	15:24:38	123
4	<0	0	15:24:38	15:25:22	44

id_update	range_update	skor_update	awal_update	akhir_update	dt_update
5	>60	4	15:25:24	15:26:16	52
.
.
31	1-20	2	15:50:46	15:50:50	4

Dari hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa jumlah data dalam 30 menit tergantung pada intensitas pergerakan tubuh responden, terbukti bahwa jumlah hasil pengukuran pada responden 1 dan responden 2 tidak sama. Selain itu alat ukur dapat melakukan perhitungan dan pengiriman data secara *continue* dalam waktu 30 menit, kecuali apabila koneksi *wireless* terputus, maka alat ukur tidak dapat mengirimkan data pada saat tidak terdapat koneksi *wireless*. Adapun salah satu hasil pengujian yang membuktikan alat ukur tidak dapat mengirimkan data selama *wireless* terputus terdapat pada hasil pengujian responden 1 sebagai berikut.

Tabel 7. Tabel saat koneksi terputus

id_update	range_update	skor_update	awal_update	akhir_update	dt_update
.
68	1-20	2	15:17:33	15:17:56	23
69	<0	0	15:18:02	15:18:08	6
70	1-20	2	15:25:47	15:25:51	4
71	20-60	3	15:26:00	15:28:13	133
.
.

Pada kolom id_update 69 dan 70 tabel 4.11 terdapat jeda waktu sampai 7 menit. Hal tersebut terjadi saat responden berada diluar jangkauan area *wireless* yang digunakan untuk mengirimkan data, sehingga data tidak dapat dikirimkan ke *database*. Alat ukur dapat melanjutkan kembali proses pengiriman data saat responden berada dalam area *wireless*.

Dari pengujian ketahanan dan kontinuitas alat ukur, dapat disimpulkan bahwa alat ukur dapat melakukan perhitungan dan mengirimkan data ke *database* secara terus menerus, terkecuali saat koneksi *wireless* yang digunakan untuk pengiriman data terputus dan pada saat power alat ukur menunjukkan kondisi off.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. MPU6050 mampu mendeteksi sudut menggunakan complementar filter berdasarkan nilai alfa sebesar 0.93 dengan keluaran satuan derajat.
2. Alat ukur mampu memperhitungkan skor RULA dengan mengklasifikasikan nilai sudut punggung berdasarkan penilaian per skor, yaitu 0° mendapatkan skor 1, lebih dari 0° sampai 20° mendapat skor 2, lebih dari 20° sampai 60° bernilai skor 3, dan lebih dari 60° mendapatkan skor 4.
3. Alat ukur sudut punggung memperoleh nilai rata-rata pengujian sudut badan tegak sebesar $0,687^\circ$. Jika didasarkan pada perbandingan antara ketelitian metode RULA sebesar 1° dan nilai rata-rata hasil pengujian sudut tegak kurang dari 1° , maka disimpulkan alat ukur telah memenuhi kriteria ketelitian sudut RULA.
4. Dari hasil pengujian didapatkan nilai rata-rata simpangan pengujian sudut saat badan tidak tegak sebesar 0.575° .

Saran

Saran untuk pengembangan Alat Ukur Sudut Punggung Untuk Mempermudah Perhitungan RULA Menggunakan MPU-6050 yaitu:

1. Untuk lebih mempermudah mendapatkan data sudut pada metode RULA, alat ukur sudut punggung dapat di kembangkan ke arah sistem yang mampu mendeteksi keseluruhan sudut tubuh yang dibutuhkan pada metode RULA.
2. Diperlukan desain produk/ alat yang lebih minimalis dan fungsional untuk mempermudah pergerakan pengguna saat melakukan pekerjaan sekaligus mampu mengurangi dampak dari resiko kesalahan sikap kerja.
3. Diperlukan desain rompi/alat yang fleksibel, sehingga dapat digunakan oleh pengguna tanpa terbatas pada ukuran badan.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, R. D. (2019). Analisa Pengaruh Aktivitas Kerja. <https://www.google.co.id/ejournal>.
- Hidayat, R. (2014). Rancang Bangun Sistem Penstabil Kamera Untuk Foto Udara Berbasis Wahana Udara Quadcopter. *ELECTRICIAN - Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, Volume 8, No. 2.

- Pangaribuan, D. M. (2009). *ANALISA POSTUR KERJA DENGAN METODE RULA PADA PEGAWAI BAGIAN PELAYANAN PERPUSTAKAAN USU MEDAN*. Medan: Universitas Sumatra Utara .
- Samara, D. (2004). *Lama Dan Sikap Duduk Sebagai Faktor Resiko Terjadinya Nyeri Pinggang Bawah*. Jakarta: Fakultas Kedokteran Universitas Trisakti.
- Samuel Sugianto, S. T. (2013). PERBAIKAN KUALITAS CITRA SINAR X TULANG BELAKANG PENDERITA SKOLIOSIS DENGAN MENGGUNAKAN GAUSSIAN CROPPING. *Journal of Control and Network Systems, JCONES* Vol. 2, No. 1 (2013) 9-15.
- V.P. Kodgirwar, V. K. (2014). Design of Control System for Quadcopter using Complementary Filter and PID Controller. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 3 Issue 4.