

## DAFTAR TABEL

Tabel II-1 Daftar Ekstraksi Fitur [23], [24] .....	10
Tabel III-1 Spesifikasi sistem berdasarkan fungsi dan fitur .....	14
Tabel IV-1 Nilai <i>Body Mass Index</i> subjek uji.....	23
Tabel IV-2 Nilai RFA dan MLAA subjek uji.....	24
Tabel IV-3 Nilai fitur sinyal EMG pada postur kaki netral subjek uji .....	33
Tabel IV-4 Nilai fitur sinyal EMG pada postur kaki pronasi subjek uji.....	34
Tabel IV-5 Perubahan nilai fitur dari sebelum ke setelah aktivitas pada subjek uji. .....	34
Tabel IV-6 Tiga nilai korelasi tertinggi pada tiap kategori.....	36
Tabel IV-7 Nilai fitur sinyal EMG pada postur kaki netral untuk 5 subjek dewasa sebelum dan sesudah beraktivitas. ....	37
Tabel IV-8 Nilai fitur dan korelasinya untuk subjek dewasa dengan postur kaki netral. ....	37
Tabel IV-9 Tiga nilai korelasi tertinggi berdasarkan data subjek dewasa umur 33 s.d. 50 tahun .....	38
Tabel IV-10 Informasi Subjek Uji Tambahan (BMI dan postur kaki) .....	39
Tabel IV-11 Tabel persen perubahan pada fitur MAV1 .....	39

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Kaki merupakan bagian tubuh manusia yang berfungsi menyeimbangkan seluruh berat tubuh meskipun memiliki permukaan yang relatif kecil sehingga tubuh dapat tetap berdiri tegak. Adanya kaki membuat kita dapat berjalan, berlari, berputar, hingga melompat. Penelitian di *Stanford University*[1] menyatakan bahwa rata-rata manusia berjalan sebanyak 4.961 langkah per hari. Namun demikian, banyaknya langkah yang dihasilkan oleh setiap orang akan berbeda tergantung pada beberapa faktor seperti usia, jenis kelamin, jenis aktivitas yang dilakukan, dan berat beban yang ditopang oleh kaki.

Berat beban yang ditopang oleh kaki dapat mempengaruhi kemampuan seseorang dalam melakukan suatu aktivitas pada kesehariannya[2]. Berat beban berlebih dapat menyebabkan rasa sakit pada kaki seperti nyeri dan pegal. Nyeri pada kaki merupakan rasa sakit yang relatif umum diderita. Meskipun begitu, rasa sakit nyeri pada kaki menjadi salah satu lokasi sakit yang sangat tidak nyaman karena hal tersebut dapat berdampak ke semua aktivitas yang sedang maupun akan dilakukan.

Salah satu penyakit atau nyeri pada kaki disebut dengan *plantar fasciitis*, yang mengenai kurang lebih satu juta orang setiap tahunnya. Dua dari tiga orang pada akhirnya menemui dokter karena tidak tahan dengan nyeri yang dirasakan[3].

Penyakit tersebut termasuk dalam kategori permasalahan kaki yang disebut dengan *heel pain*. *Heel pain* adalah permasalahan umum yang terjadi pada kaki karena timbulnya rasa nyeri di sekitar bagian tumit. Sakit atau nyeri yang dirasakan pada umumnya berada di sekitar tumit, yaitu dibawah, dibelakang, bahkan disamping[4]. Penyebab dari munculnya *heel pain* pun beragam seperti dari berat beban yang ditopang kaki, cara berjalan yang abnormal, hingga berdiri atau berlari pada permukaan kasar[5].

*Heel pain* menjadi keluhan umum bagi pasien *orthopaedic*. Melakukan diagnosa yang akurat menjadi hal yang menantang bagi dokter dikarenakan kompleksitas daerah anatomi dan kedekatannya dengan daerah timbul nyeri[6]. Hal ini yang menjadi landasan penelitian ini dilakukan, yaitu dengan harapan dapat memberikan metode alternatif diagnosis yang dapat membantu tenaga medis.

Pada riset ini, dikembangkan suatu teknik observasi terjadinya *heel pain* berdasarkan jenis postur kaki yang disertai dengan batasan umur dan jenis kelamin. Observasi tersebut dilakukan dengan cara monitoring subjek pada bagian kaki tertentu dengan waktu pengamatan pada sebelum dan sesudah beraktivitas naik turun tangga menggunakan *Electromyography* (EMG) untuk mengetahui lokasi yang dominan terjadinya *heel pain*.

## 1.2. Rumusan Masalah

Dari pemaparan latar belakang, maka didapat beberapa rumusan masalah, yaitu:

- a. Bagaimana rancangan sistem untuk mendeteksi lokasi *heel pain* yang akan dibangun?
- b. Bagaimana proses pengolahan data yang didapat dari alat untuk deteksi lokasi *heel pain*?

## 1.3. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai :

- a. Mengimplementasikan Myoware Muscle Sensor sebagai perangkat *electromyography* (EMG) untuk mendeteksi lokasi *heel pain* pada bagian kaki antara *midfoot* dan *posterior* dengan variasi postur kaki netral dan pronasi
- b. Mencari satu fitur paling sensitif dengan menggunakan korelasi sebagai penentu lokasi *heel pain* pada bagian kaki *midfoot* dan *posterior*.

Manfaat yang ingin dicapai :

- a. Membantu mendeteksi lokasi dominan terjadinya *heel pain* antara bagian kaki *midfoot* dengan *posterior*.
- b. Membantu dalam kebutuhan riset medis dalam bidang penanganan yang tepat saat kaki terasa nyeri setelah mendapat lokasi *heel pain*.

## 1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini :

- a. Aktivitas yang dilakukan yaitu naik-turun tangga selama lima belas menit.

- b. Subjek yang diuji adalah pria dengan rentang umur 20-25 tahun sebanyak masing-masing minimal tiga orang dengan postur kaki netral dan pronasi.
- c. Bagian kaki yang dideteksi yaitu *posterior* dan *midfoot* pada kaki kanan.

### **1.5. Metode Penelitian**

Metode yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

#### **1. Studi Literatur**

Metode ini bertujuan sebagai referensi yang membentuk pondasi teori dalam melakukan penelitian tugas akhir ini.

#### **2. Perancangan Sistem**

Metode ini bertujuan sebagai realisasi dari kumpulan konsep teori yang telah dikumpulkan. Perancangan sistem terdiri dari perancangan *hardware* dan *software*.

#### **3. Simulasi dan Uji Coba**

Metode ini bertujuan untuk menguji rancangan sistem dengan kondisi yang mirip dengan realisasi pengujian.

#### **4. Implementasi**

Metode ini bertujuan untuk mengaplikasikan sistem kepada subjek sesungguhnya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

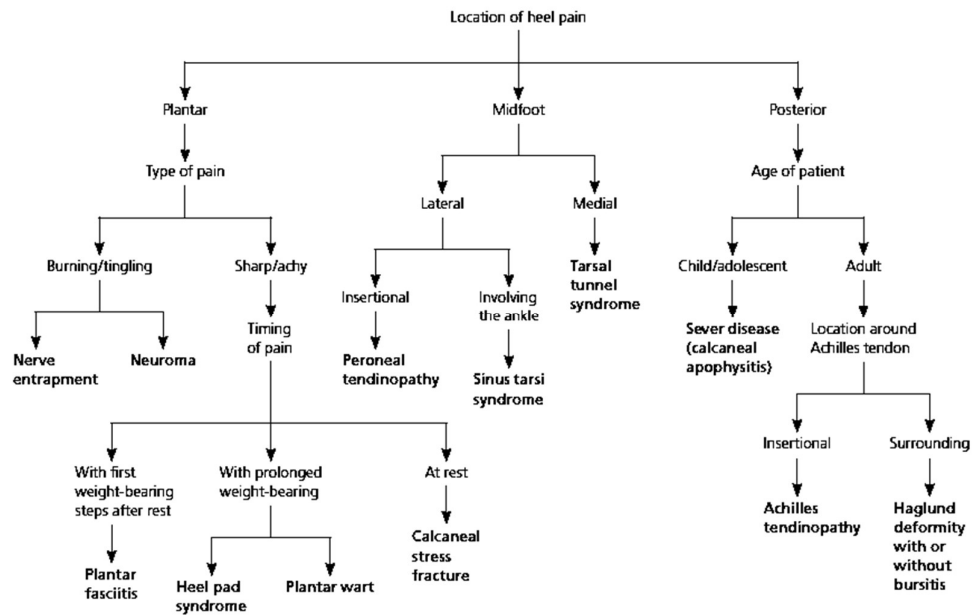
#### **2.1. Heel Pain**

*Heel pain* adalah istilah paling umum untuk menggambarkan rasa sakit atau tidak nyaman di dalam atau sekitar kaki [7]. *Heel pain* umumnya terjadi pada usia yang lebih tua sekitar diatas umur 40 tahun pada orang-orang yang aktif. Hal ini terjadi karena seiring bertambahnya usia dan banyaknya aktivitas yang dilakukan, kemampuan *shock absorption* bantalan kaki untuk melindungi dari cedera semakin menurun [8].

Selain faktor usia, terdapat beberapa faktor umum lain yang berhubungan dengan munculnya masalah pada tumit. Biomekanis yang buruk merupakan salah satu penyebab *heel pain*. Tumit merupakan bagian kaki yang paling awal menyentuh tanah saat berjalan maupun berlari. Pada kaki netral, berat tubuh akan terdistribusi secara merata saat berjalan maupun berlari. Sedangkan jika postur kaki merupakan supinasi atau pronasi, maka berat tubuh tidak akan terdistribusi merata yang akan menyebabkan tumit menahan beban terlalu besar [9].

Hal ini berlaku pula pada orang-orang yang kelebihan berat badan (obesitas) maupun orang-orang yang memiliki pekerjaan yang aktivitas gerak kakinya cukup tinggi, seperti atlet lari, tenis, bola basket, hingga pekerja angkut barang.

Lokasi terjadinya *heel pain* dikelompokkan menjadi tiga bagian pada kaki, yaitu: *plantar*, *midfoot*, dan *posterior* [10]. Etiologi *heel pain* dapat dilihat pada gambar II-1. Pada penelitian ini, hanya akan dibahas lokasi *heel pain* di dua bagian, yaitu *midfoot* dan *posterior*.



Gambar II-1 Etiologi *heel pain* [10]

### 2.1.1. Posterior

Berikut tertera beberapa jenis *heel pain* yang terjadi di bagian kaki *posterior*:

#### a. Achilles Tendinopathy

*Achilles tendinopathy* adalah istilah untuk mendeskripsikan rasa sakit, pembengkakan dan disfungsi pada *Achilles tendon*. Terdapat beberapa etiologi dari *Achilles tendinopathy*, diantaranya: pemakaian berlebihan otot betis, jaringan vaskuler yang buruk, ketidakseimbangan mekanis, dan faktor genetik [11]. Kondisi ini dapat terjadi disekitar atau di dalam tendon, menyebabkan *posterior heel pain* yang membuat pegal, sesekali menusuk, dan akan memburuk seiring dengan meningkatnya aktivitas atau tekanan di bagian kaki tersebut [10].

#### b. Haglund Deformity

*Haglund deformity* adalah kelainan bentuk yang dapat terjadi di satu atau kedua kaki. Kondisi ini ditandai dengan adanya pembengkakan pada bagian di antara *calcaneus* dan *Achilles tendon* disertai dengan rasa nyeri dan warna kulit kemerahan di sekitarnya [8], [10].

c. *Sever Disease*

*Sever Disease (calcaneal apophysitis)* adalah peradangan/pembengkakan *calcaneal apophysis* yang terjadi karena *microtrauma* (cedera ringan pada tubuh) secara berulang-ulang dari tertariknya *Achilles tendon* pada tulang yang masih berkembang. Umumnya terjadi pada anak-anak umur 8-12 tahun, usia dimana anak-anak mulai tertarik terhadap olahraga ataupun aktivitas yang memerlukan banyak gerakan. Pada usia ini, tulang tumit tumbuh lebih cepat daripada otot dan tendon [8], [10], [12].

**2.1.2. Midfoot**

Berikut tertera beberapa jenis *heel pain* yang terjadi di bagian kaki *midfoot*:

d. *Tarsal Tunnel Syndrome*

*Tarsal tunnel* adalah ruang *fibro-osseous* yang terdiri dari *flexor retinaculum*, *medial calcaneus*, *posterior talus*, dan *medial malleolus* [10]. *Tarsal Tunnel Syndrome* adalah terjebaknyaterjepitnya saraf tibial di *tarsal tunnel* yang umumnya disebabkan oleh *pes planus (flat foot)*, patah tulang, *space occupying lesions*, *tenosynovitis*, diabetes, dan *rheumatoid arthritis* [6]. Penderita merasa nyeri yang semakin memburuk saat berjalan atau berlari.

e. *Sinus Tarsi Syndrome*

Sinus Tarsi (*talocalcaneal sulcus*) adalah ruang anatomi terikat oleh *calcaneus*, talus, sendi *talocalcaneonavicular*, dan bagian belakang dari sendi subtalar. Nyeri dari kondisi ini umumnya terasa di *lateral calcaneus* dan pergelangan kaki, akan semakin memburuk seiring dengan olahraga atau berjalan di permukaan yang tidak rata [10].

Diagnosis *heel pain* dapat dilakukan oleh dokter atau tenaga ahli melalui pemeriksaan fisik maupun melalui instrumentasi biomedis seperti X-Ray, *Magnetic Resonance Imaging (MRI)*, dan *Computerized Tomography (CT) Scan*. Selain itu, diagnosis awal dapat dilakukan dengan pengimplementasian *Electromyography (EMG)* yang diletakkan di lokasi *heel pain*. Oleh karena itu, lokasi dari *heel pain* dapat menjadi panduan dalam diagnosis yang lebih tepat untuk penanganan penyakit ini.

## 2.2. Electromyography

Elektromiografi adalah studi ilmu mengenai potensial elektrik dari otot yang disebut *myoelectric* [13]. Elektromiografi dilakukan menggunakan instrument elektromiograf yang menghasilkan rekam grafik yang disebut dengan elektromiogram.

EMG menjadi salah satu metode terbaik yang objektif dan informatif untuk riset kondisi fungsional dari sistem saraf dan sekitarnya. Riset EMG tidak hanya menghasilkan sifat dari penyakit dan diagnosa terbarunya, tetapi juga dapat memantau secara objektif efektivitas dari pengobatan serta prediksi waktu pemulihan pasien [14].

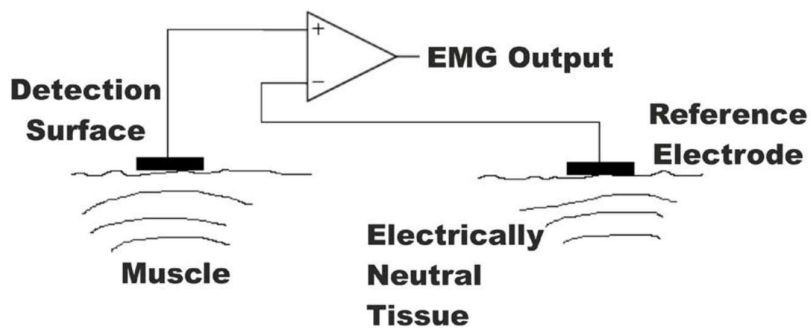
Seperti yang telah disinggung sebelumnya, EMG dapat menjadi salah satu metode untuk diagnosa terhadap penyakit yang berkaitan dengan otot. Pada penelitian ini, EMG digunakan untuk merekam aktivitas otot pada bagian kaki *posterior* dan *midfoot* sebagai lokasi *heel pain*.

Elektrode digunakan untuk mendapatkan sinyal otot. Ada dua jenis elektrode yang digunakan EMG, yaitu: *invasive electrode* (cth: elektrode jarum) dan *non-invasive* (cth: elektrode permukaan kulit). Rentang amplitudo dari sinyal EMG berkisar antara 0-10 mV (+5 hingga -5) sebelum penguatan [15].

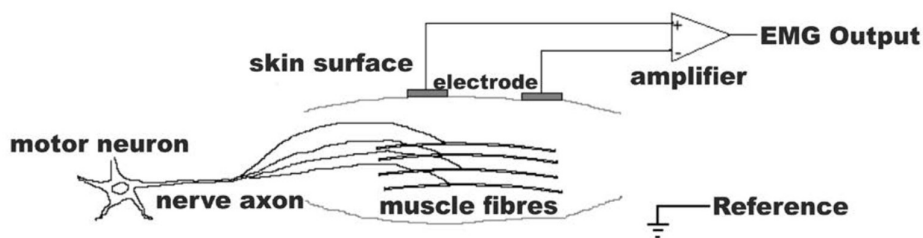
Apapun jenis dari elektrode pada EMG, terdapat dua konfigurasi untuk aktivitas listrik, yaitu monopolar dan bipolar [14]. Konfigurasi monopolar dilakukan dengan cara menempatkan elektrode pertama dekat dengan permukaan dari otot yang ingin diukur dan elektrode kedua diletakkan lebih jauh yang berperan sebagai elektrode referensi. Ilustrasi konfigurasi monopolar pada Gambar II-2.

Konfigurasi bipolar menempatkan dua buah elektrode berdekatan di sekitar area otot yang ingin diukur dan elektrode ketiga sebagai elektrode referensi. Ilustrasi konfigurasi bipolar pada Gambar II-3. Sinyal dari elektrode aktif diberikan ke amplifier berbeda yang merekam perbedaan elektrik antara kedua elektrode pendeteksi. Sinyal yang sama pada kedua input amplifier dilemahkan dan dihilangkan dari sinyal. Konfigurasi ini didesain untuk meminimalisasi sinyal yang tidak diinginkan hasil dari lingkungan seperti frekuensi radio maupun aktivitas elektrik dari sumber listrik.





Gambar II-2 Konfigurasi monopolar [14]

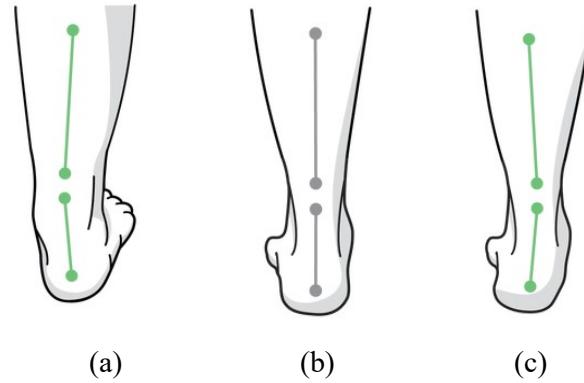


Gambar II-3 Konfigurasi bipolar [14]

### 2.3. Postur Kaki

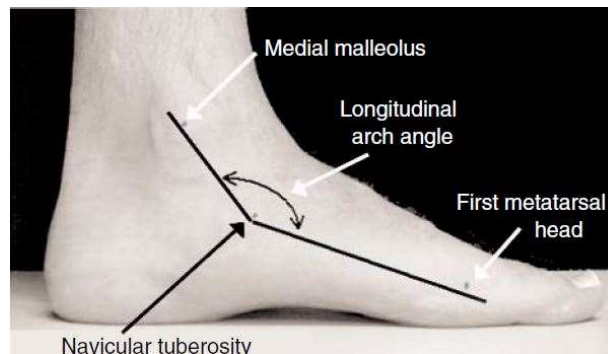
Kaki adalah struktur anatomi yang ditemukan di banyak vertebrata dan merupakan bagian tubuh yang menanggung berat dan sebagai alat penggerak [16]. Postur kaki dikarakteristikan berdasarkan bentuk fisik eksternal dari kaki dan ditentukan oleh kesejajaran tulang kaki serta lokasi, ukuran, dan sifat mekanis dari jaringan lunak yang menyelimutinya [17]. Secara umum, postur kaki terdiri dari tiga klasifikasi, yaitu: normal/netral, pronasi, dan supinasi.

Klasifikasi postur kaki menggunakan metode *Rearfoot Angle* (RFA) ditentukan dengan membagi dua *calcaneus* dan distal secara longitudinal sepertiga dari kaki [18]. Hasil pengukuran diklasifikasikan untuk  $RFA \geq 5^\circ$  valgus merupakan pronasi,  $4^\circ$  valgus hingga  $4^\circ$  varus merupakan kaki netral, dan  $\geq 5^\circ$  varus merupakan supinasi [6]. Gambar II-4 merupakan ilustrasi postur kaki berdasarkan RFA.



Gambar II-4 Postur kaki jenis (a) pronasi, (b) netral, dan (c) supinasi

Adapula pengukuran dengan metode *Medial Longitudinal Arch Angle* (MLAA) dengan meraba dan memberi tanda pada titik tengah *medial malleolus*, bagian menonjol dari *navicular tuberosity*, dan bagian menonjol dari *first metatarsal head*. Titik tersebut kemudian diukur dengan goniometer dengan titik pusatnya di bagian tanda *navicular tuberosity* [19] seperti pada Gambar II-5. Klasifikasi MLAA adalah  $130^\circ - 150^\circ$  untuk netral,  $\leq 130^\circ$  untuk pronasi, dan  $\geq 150^\circ$  untuk supinasi [20].



Gambar II-5 Perhitungan sudut MLAA [20]

#### 2.4. Ekstraksi Fitur

Sinyal EMG memiliki bentuk sinyal yang tidak pasti dan tidak sama di setiap waktunya. Metode *signal processing* dibutuhkan untuk dapat menganalisa sinyal EMG. Ekstraksi fitur adalah proses menemukan karakteristik informasi tersembunyi dari sinyal masukan dan perilaku sumber [21]. Hasil dari ekstraksi fitur dapat merepresentasikan sinyal EMG dilihat dari beberapa set fitur yang diaplikasikan ke sinyal. Fitur-fitur ini akan membuat sinyal lebih tersusun dan terperinci, sehingga dapat dilihat karakteristik dari sinyal EMG tersebut.

Secara umum, ekstraksi fitur pada sinyal EMG dapat dibagi menjadi tiga kategori, *time domain* (TD), *frequency domain* (FD), dan *time-frequency domain* (TFD) [22]. Penelitian ini menggunakan ekstraksi fitur dengan domain waktu. Berikut beberapa fitur kategori *time domain* ditulis dalam Tabel II-1.

Tabel II-1 Daftar Ekstraksi Fitur [23], [24]

Ekstraksi Fitur	Keterangan	Ekspresi Matematis
<i>Integrated EMG</i> (IEMG)	Penjumlahan nilai mutlak dari amplitudo sinyal EMG	$\sum_{i=1}^N  X_i $ <p>dimana <math>X_i</math> sebagai sinyal EMG dalam segmen <math>i</math> dan <math>N</math> merupakan panjang sinyal</p>
<i>Mean absolute value</i> (MAV)	Rata-rata nilai mutlak dari sinyal amplitudo EMG dalam segmen yang telah di <i>rectified</i>	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N  X_i $
<i>Modified mean absolute value type 1</i> (MAV1)	Perluasan dari MAV dengan penambahan fungsi <i>window</i> $W_i$	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W_i  X_i $ $W_i = \begin{cases} 1, & \text{if } 0.25N \leq i \leq 0.75N \\ 0.5, & \text{otherwise} \end{cases}$
<i>Modified mean absolute value type 2</i> (MAV2)	Serupa dengan MAV1, tetapi $W_i$ merupakan fungsi kontinu yang akan meningkatkan <i>smoothness</i> dari fungsi penambahan	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W_i  X_i $ $W_i = \begin{cases} 1, & \text{if } 0.25N \leq i \leq 0.75N \\ \frac{4i}{N}, & \text{elseif } i < 0.25N \\ \frac{4(i-N)}{N}, & \text{otherwise} \end{cases}$
<i>Simple square integral</i> (SSI)	Penjumlahan nilai kuadrat dari amplitudo sinyal. Umumnya, metode ini didefinisikan sebagai <i>energy index</i>	$\sum_{i=1}^N  X_i ^2$
<i>Variance of EMG</i> (VAR)	Rata-rata dari nilai kuadrat dari deviasi. Metode ini	$\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N X_i^2$

	menggunakan <i>power</i> dari sinyal sebagai fitur	
<i>Root mean square</i> (RMS)	Metode ini menggunakan proses modulasi amplitudo <i>Gaussian Random</i> dimana RMS berhubungan dengan gaya konstan dan kontraksi <i>non-fatigue</i>	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i^2}$

## 2.5. Korelasi

Korelasi adalah sebuah metode analisis bivariat yang digunakan untuk menyelidiki kemungkinan hubungan yang ada pada dua variabel kontinu dengan mengukur kekuatan dan arah dari hubungan kedua variabel tersebut[25]. Korelasi dapat dikatakan sebagai derajat dimana dua variabel berbagi hubungan yang sama.

Untuk menghitung derajat hubungan dapat dilakukan dengan menghitung nilai *correlation coefficient*. Nilai dari *correlation coefficient* ( $r$ ) berada di rentang  $-1 \leq r \leq +1$ . *Plus* dan *minus* menandakan arah dari hubungan. *Correlation coefficient* mendekati nilai +1 bermakna hubungan positif dari kedua variabel, mendekati nilai -1 bermakna hubungan negatif dari kedua variabel, sedangkan nilai *correlation coefficient* sama dengan 0 bermakna tidak ada hubungan diantara kedua variabel.

Terdapat tiga jenis korelasi yang umum digunakan dalam dunia satatistika, yaitu *Pearson*, *Spearman*, dan *Kendall*. *Pearson correlation* mengukur korelasi hubungan linier antara dua variabel *random* kontinu. korelasi *pearson* menggunakan fungsi *monotonic*, yaitu dimana salah satu variabel tidak akan naik atau tidak akan turun saat variabel independennya naik. Formula korelasi *pearson* sebagai berikut[26]:

$$r_p = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{\sqrt{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \sqrt{n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2}} \dots\dots\dots(1)$$

dimana  $r_p$  = koefisien korelasi *pearson*;  $n$  = banyak data;  $X_i$  = nilai  $x$  ke- $i$ ;  $Y_i$  = nilai  $y$  ke- $i$ .

*Spearman correlation* merupakan uji *non-parametric* dimana distribusi datanya tidak linear tetapi masih merupakan fungsi *monotonic*[27]. Formula korelasi *spearman* sebagai berikut[26]:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2-1)} \dots \dots \dots (2)$$

dimana  $r_s$  = koefisien korelasi *spearman*;  $d_i$  = perbedaan diantara *rank* variabel yang berhubungan.

*Kendall correlation* merupakan uji *non-parametric* yang mengukur ketergantungan satu sama lain dari dua variabel[26]. Sebagai contoh terdapat dua data yang saling bergantung tetapi jika dihitung nilai korelasi *pearson* mendapat nilai 0[28]. Formula korelasi *kendall* sebagai berikut [26]:

$$r_k = \frac{n_c - n_d}{\frac{1}{2}n(n-1)} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana  $r_k$  = koefisien korelasi *kendall*;  $n_c$  = banyak *concordant*;  $n_d$  = banyak *discordant*.