

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka merupakan tahapan untuk melakukan penggalian informasi bagaimana penelitian-penelitian terdahulu. Tinjauan pustaka juga dilakukan dengan mengetahui metode-metode dan cara perancangan solusi yang dibutuhkan. Pencarian dilakukan pada *database* penelitian (Science Direct dan Google Scholar) serta publikasi pada *website* resmi di Google. Pencarian pustaka menggunakan beberapa kata kunci, yaitu “*wearable sensor*”, “*data collection*”, “perancangan media pembelajaran sensor”, “*heart rate sensor*”, “DMADV”, dan “*Ergonomics society*”.

2.1.1. Penelitian Terdahulu

Pengumpulan data secara *real-time* memiliki ciri kemampuan sistem untuk memperoleh data secara cepat dari suatu aktivitas atau proses fisik. Salah satu alat yang digunakan untuk pengumpulan data secara *real-time* adalah sensor. Penggunaan sensor memudahkan dalam pengambilan data, terutama pengambilan data pada kegiatan fisik yang sedang berlangsung. Beberapa penelitian terdahulu telah melakukan pengambilan data menggunakan sensor, berkaitan dengan kegiatan fisik yang melibatkan aktivitas manusia.

Manivasagam dan Yang (2022) dalam penelitiannya menggunakan sensor untuk mengukur pergerakan pergelangan tangan. Pengukuran tersebut dilakukan untuk mengukur risiko muskuloskeletal atau gangguan sistem otot, saraf, tulang, serta sendi, terutama di bagian siku atau tangan. Linnenberg dan Weidner (2022) menggunakan sensor yang dipasang pada sistem kerangka luar (eksoskeleton) untuk mendeteksi adanya tekanan pada lokasi tertentu pada kerangka luar.

Caporaso dkk (2022) merancang sistem *virtual reality* menggunakan *wearable sensor* untuk pengujian dan validasi tempat kerja kooperatif. Penelitian dilakukan untuk melakukan evaluasi aspek ergonomi berdasarkan analisis aktivitas otot secara *real-time* dalam lingkungan virtual yang imersif. McDevitt dkk (2022) menggunakan *wearable sensor* untuk menganalisis risiko dan meningkatkan performa pada pekerja industri (yang kemudian disebut dengan *industrial athletes* atau atlet industri) dan atlet olahraga. Kedua penelitian tersebut ditujukan untuk mengevaluasi dan meningkatkan performa kerja menggunakan *wearable sensor*.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, jenis sensor yang digunakan untuk melakukan *monitoring* aktivitas fisik bergantung pada data anggota tubuh yang ingin diambil. Penelitian Manivasagam dan Yang (2022) menggunakan *inertial measurement unit* (IMU), yaitu menggunakan elektrogoniometer yang dipasang pada tangan untuk mengukur kecepatan fleksi pergelangan tangan. Sedangkan penelitian Linnenberg dan Weidner (2022) menggunakan sensor tekanan (*pressures sensor*) yang ditempatkan pada empat titik kerangka luar di bagian lengan ketika melakukan aktivitas statis dan dinamis di atas kepala untuk menginvestigasi tekanan yang terjadi.

Hasil penelitian Manivasagam dan Yang (2022) menunjukkan bahwa pengukuran berbasis IMU nyaman digunakan untuk evaluasi aspek ergonomi dalam pengukuran risiko gerakan pergelangan tangan. Hasil pengukuran dalam penelitian Manivasagam dan Yang (2022) dapat digunakan dalam studi pekerjaan dan merancang serta mengevaluasi stasiun kerja atau fasilitas kerja. Sedangkan hasil penelitian Linnenberg dan Weidner (2022) menunjukkan adanya tekanan yang tinggi pada kerangka luar. Pada penelitian Caporaso dkk (2022), sistem yang dirancang menggunakan sensor elektromiografi dan satu sensor akselerometer uniaksial. Hasil yang diperoleh dari percobaan ini adalah pekerja dapat memahami status ergonomis dan kondisi kenyamanannya saat melakukan pekerjaan di lingkungan virtual. Beberapa penelitian tersebut menunjukkan bahwa hasil penelitian menggunakan *wearable* sensor ditujukan untuk evaluasi aspek ergonomi.

Sensor yang digunakan pada penelitian McDevitt dkk (2022) adalah sensor eksoskeleton, *pressure sensors*, IMUs, dan *surface* EMG. Contoh aktivitas yang diukur pada penelitian ini adalah mengangkat, pergerakan yang berulang, dan penilaian aspek ergonomi pada atlet industri; serta berlari, melompat mekanik, kemiringan dan keseimbangan pada atlet olahraga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *wearable sensor* mampu meningkatkan performa kerja serta menganalisis risiko pada pekerjaan yang dilakukan atlet olahraga maupun atlet industri.

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, sensor yang paling banyak digunakan untuk pengambilan data terkait aktivitas fisik yang melibatkan manusia adalah *wearable sensor* atau sensor yang dapat dikenakan. Sensor ini dikenakan pada anggota tubuh tertentu untuk melakukan pemantauan atau *monitoring* selama manusia melakukan aktivitas fisik. Penggunaan *wearable sensor* sangat sesuai

untuk pengambilan dan pengumpulan data secara *real-time*. Hasil dari beberapa penelitian yang sudah ada menunjukkan bahwa penggunaan *wearable sensor* mampu mendukung evaluasi kerja dan meningkatkan performa kerja melalui pengumpulan data selama *monitoring*.

Pengumpulan data menggunakan sensor memungkinkan penyimpanan data dalam *database* untuk mengevaluasi aktivitas fisik pekerja dari waktu ke waktu. Zhong dkk (2021) merancang *early warning system* untuk mendeteksi aktivitas fisik pada pekerja kapal berbasis kamera. Penelitian ini mampu melakukan deteksi kelelahan pekerja. Secara umum, sistem yang dirancang terdiri dari perangkat pengolah gambar, *controller*, alarm, *server*, dan *database*.

Penelitian serupa dilakukan Sari dkk (2021) dan Sulisty (2016). Penelitian Sari dkk (2021) bertujuan untuk merancang, menilai, dan meningkatkan keandalan sistem berbasis *telemedicine* untuk pemeriksaan dan pemantauan gejala *silent hypoxia* menggunakan sensor denyut nadi. Penelitian Sulisty (2016) bertujuan untuk merancang alat pendeteksi denyut nadi yang bertujuan untuk membantu tenaga medis melakukan perhitungan denyut nadi secara digital dan ditampilkan ke komputer.

Penelitian yang dilakukan Sari dkk (2021) dan Sulisty (2016) menggunakan sensor denyut nadi dan mikrokontroler, melakukan pengiriman data ke *database*, serta melakukan pengujian tingkat akurasi alat yang dirancang. Penelitian Sari dkk (2021) menggunakan sensor denyut nadi MAX30100 dan mikrokontroler NodeMCU. Data yang dikumpulkan disimpan dalam *database* Google Firebase. Pengujian tingkat akurasi sensor denyut nadi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor MAX30100 dengan produk komersial berupa alat untuk mengukur denyut nadi, dengan hasil tingkat akurasi untuk pengukuran denyut nadi adalah sebesar 97,14%. Penelitian Sulisty (2016) menggunakan *Pulse Sensor for Arduino* dan mikrokontroler Arduino Mega 2560. Data hasil pengukuran ditampilkan pada LCD dan dikirim ke *database* Microsoft Access. Tingkat akurasi alat yang dirancang adalah 98,32% yang diperoleh dengan membandingkan hasil pengukuran denyut nadi secara manual dengan hasil pengukuran menggunakan alat yang dirancang.

Monitoring denyut nadi juga dapat dilakukan dengan menggunakan sensor denyut nadi yang terpasang pada *smartwatch*. Schober dkk (2022) melakukan penelitian untuk mendeteksi henti jantung di luar rumah sakit secara otomatis menggunakan

smartwatch. Sedangkan penelitian Walsh dkk (2020) melakukan *monitoring* denyut nadi untuk mendeteksi adanya diagnosis yang tidak biasa dari denyut nadi. Kedua penelitian tersebut menggunakan *smartwatch* untuk mengukur denyut nadi dengan tujuan untuk mengamati kerja jantung, sehingga mampu mengetahui keadaan tidak normal pada jantung.

Seiring dengan kemajuan teknologi terutama di bidang industri, *wearable sensor* digunakan sebagai alat untuk melakukan *monitoring* keadaan fisik pekerja secara *real-time*. Pihak manajerial perusahaan dapat memutuskan adanya perubahan sistem kerja yang lebih baik bagi pekerja dengan mengetahui kondisi yang dialami pekerja. Penerapan konsep *monitoring* keadaan fisik pekerja di bidang industri ini melibatkan penelitian multidisiplin. Seiring dengan perkembangan teknologi, dunia pendidikan juga dituntut untuk mempersiapkan kalangan terdidik agar mampu menguasai teknologi. Salah satu penerapannya adalah melalui kegiatan praktikum di laboratorium. Kegiatan praktikum membutuhkan fasilitas berupa alat praktikum untuk memudahkan pemahaman materi praktikum.

Beberapa penelitian dilakukan untuk merancang suatu alat praktikum menggunakan sensor. Permana (2017) dalam penelitiannya merancang media pembelajaran menggunakan sensor. Media pembelajaran ini ditujukan untuk mata pelajaran Sensor dan Transduser di SMK Ki ageng Pemanahan, Bantul. Penelitian yang dikembangkan menggabungkan model penelitian ADDIE (*Analyze, Design, Develop, Implement, dan Evaluation*) dengan sekuensial linier (*waterfall*). Media pembelajaran ini menggunakan sensor-sensor yang terdapat pada *smartphone* Android. Sensor yang digunakan adalah akselerometer, giroskop, dan magnetometer. Model *waterfall* yang diterapkan terdiri dari *analysis, design, code, dan test*. Wahyuni (2018) melakukan penelitian untuk merancang media pembelajaran matematika menggunakan sensor sentuh (*capacitive touch*) dan mikrokontroler Arduino Uno. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengembangan multimedia Luther-Sutopo. Metode ini terdiri dari enam tahap, yaitu *concept, design, material collecting, assembly, testing, dan distribution*.

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, perancangan alat/media pembelajaran yang dilakukan belum menggunakan metode tertentu dalam perancangan produk. Tahapan awal sebagai identifikasi/analisis permasalahan yang ada dilakukan berdasarkan pengamatan penulis, bukan berdasarkan survei

kebutuhan pengguna. Salah satu contoh metode yang digunakan dalam perancangan produk adalah DMADV (*define, measure, analyze, design, verify*). Metode ini merupakan salah satu metode yang dikembangkan dalam kerangka DFSS (*design for Six Sigma*).

Beberapa penelitian dalam perancangan produk menggunakan metode DMADV telah dilakukan. Penelitian yang dilakukan Purushothaman dan Ahmad (2022) menggunakan metode DMADV. Penelitian tersebut ditujukan untuk mengembangkan sistem inspeksi otomatis berbasis foto (*image-based*). Penelitian ini menerapkan *tools* berupa *quality function deployment* (QFD), *design failure mode effect analysis* (DFMEA), dan *theory of inventive problem solving* (TRIZ). Pada tahap *measure* menggunakan *tools* berupa QFD, sedangkan pada tahap *analyze* menggunakan DFMEA dan TRIZ.

Deshpande (2016) menerapkan metode DMADV dalam merancang desain kemasan yang efisien dan berkelanjutan pada industri pengemasan. Deshpande (2016) juga menerapkan *tools* QFD pada tahap *measure*, sama seperti penelitian Purushothaman dan Ahmad (2022). Tahap *measure* pada penelitian Deshpande (2016) menggunakan dua *tools* tambahan, yaitu *process flowchart* dan *market survey*, sedangkan pada tahap *analyze* *tools* yang digunakan berupa *Benchmarking*, *Pugh Matrix*, *Wal-Mart Scorecard*, dan *CAPE Analysis*.

Berdasarkan beberapa penelitian yang ditemukan, penerapan metode DMADV dapat diterapkan pada perancangan suatu alat dengan melibatkan *tools* tertentu. *Tools* yang digunakan berhubungan dengan identifikasi kebutuhan konsumen, sehingga perancangan dilakukan berdasarkan identifikasi kebutuhan konsumen. Seluruh hasil peninjauan pustaka terdahulu disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Tinjauan Pustaka Terdahulu Terkait dengan Penelitian Tugas Akhir

| Peneliti | Tujuan Penelitian | Metode Penelitian | Hasil Penelitian |
|-------------------------------|---|---|---|
| Manivasagam dan Yang (2022) | Mengukur pergerakan pergelangan tangan menggunakan sensor elektrogoniometer. | Tidak dijelaskan | Pengukuran berbasis IMU nyaman digunakan untuk evaluasi aspek ergonomi dalam pengukuran risiko gerakan pergelangan tangan. |
| Linnenberg dan Weidner (2022) | Mendeteksi kelelahan pada sistem kerangka luar menggunakan sensor tekanan. | Tidak dijelaskan | Adanya tekanan yang tinggi pada kerangka luar. |
| Caporaso dkk (2022) | Merancang sistem <i>virtual reality</i> menggunakan <i>wearable sensor</i> untuk pengujian dan validasi tempat kerja kooperatif. | Tahap pertama membuat lingkungan virtual untuk pekerja; tahap kedua membuat peralatan ergonomis untuk analisis kegiatan otot. | Pekerja dapat memahami status ergonomis dan kondisi kenyamanannya saat melakukan pekerjaan di lingkungan virtual |
| Zhong dkk (2021) | Merancang <i>early warning system</i> untuk <i>monitoring</i> kelelahan pada pekerja kapal berbasis kamera | Tidak Dijelaskan | Sistem yang dirancang mampu mendeteksi dan melakukan <i>monitoring</i> kelelahan pekerja, serta mampu meningkatkan performansi pekerja secara <i>real-time</i> . |
| Sari dkk (2021) | Merancang alat untuk mendeteksi denyut nadi untuk tujuan pemeriksaan dan pemantauan gejala <i>silent hypoxia</i> , serta meningkatkan reliabilitas dan akurasi sensor denyut nadi MAX30100. | Tidak dijelaskan | Alat untuk mendeteksi denyut nadi menggunakan sensor MAX30100, dengan tingkat akurasi sensor untuk pengukuran denyut nadi sebesar 97,11% dan pengukuran saturasi oksigen (SpO ₂) sebesar 98,84%. Setelah dilakukan kalibrasi, diperoleh tingkat akurasi sensor untuk mengukur denyut nadi sebesar 97,14% dan untuk mengukur saturasi oksigen sebesar 99%. |
| Sulistyo (2016) | Melakukan perhitungan denyut nadi secara digital dan ditampilkan ke komputer menggunakan Arduino. | Tidak dijelaskan | Penelitian ini menghasilkan alat yang memiliki tingkat keakuratan sebesar 98,32%. |

Tabel 2.1. Lanjutan

| Peneliti | Tujuan Penelitian | Metode Penelitian | Hasil Penelitian |
|--------------------------------|---|--|---|
| McDevitt dkk (2022) | Menganalisis risiko dan meningkatkan performa pada pekerja industri dan atlet olahraga menggunakan <i>wearable sensor</i> . | PRISMA (<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis</i>) | <i>Wearable sensor</i> mampu meningkatkan performa kerja serta menganalisis resiko pada pekerjaan yang dilakukan atlet olahraga maupun atlet industri. |
| Permana (2017) | Merancang media pembelajaran menggunakan sensor untuk mata pelajaran Sensor dan Transduser | Menggabungkan model penelitian ADDIE (<i>Analyze, Design, Develop, Implement, dan Evaluation</i>) dengan sekuensial linier (<i>waterfall</i>). | Penelitian ini menghasilkan modul praktikum dan media pembelajaran Praktikum Sensor dan Transduser untuk siswa SMK Ki Ageng Pemanahan. |
| Wahyuni (2018) | Merancang media pembelajaran menggunakan sensor sentuh (<i>capacitive touch</i>) dan mikrokontroler Arduino Uno untuk peserta didik penyandang tunanetra. | Pengembangan Multimedia Luther-Sutopo | Media pembelajaran yang sudah diuji validitas oleh ahli media dan materi pembelajaran dengan tingkat validasi 91% serta telah diujicobakan. |
| Purushothaman dan Ahmad (2022) | Mengembangkan sistem inspeksi otomatis berbasis foto (<i>image-based</i>). | DMADV (menggunakan <i>tools</i> QFD DFMEA, dan TRIZ) | Sistem inspeksi otomatis bernama i-AIS (<i>image-based automatic inspection system</i>) yang mampu mengurangi tingkat kecacatan dari 0,90% menjadi 0,23% dan mengurangi rata-rata <i>downtime</i> setiap 1.000 meter dari 28,75 menit menjadi 5,56 menit. |
| Deshpande (2016) | Merancang desain kemasan yang efisien dan berkelanjutan pada industri pengemasan. | DMADV (menggunakan <i>tools</i> <i>Benchmarking, Pugh Matrix, Wal-Mart Scorecard, dan CAPE Analysis</i>) | Kemasan yang efisien dalam keseluruhan rantai pasok dan berkelanjutan. |

2.1.2. Pemilihan Solusi

Pemilihan solusi pada penelitian tugas akhir diawali dengan pengidentifikasian masalah yang dialami *stakeholders*, dengan menyebarkan kuesioner, melakukan observasi, dan wawancara. Selanjutnya menentukan *customer requirements* ditentukan dengan menyimpulkan hasil wawancara dan pengisian kuesioner. Tahapan selanjutnya adalah melakukan penentuan *functional requirements* untuk menjawab *customer requirements*. *Tools* yang digunakan adalah QFD.

Tahapan selanjutnya adalah membangkitkan alternatif-alternatif solusi dalam peta morfologi. Berdasarkan tingkat kepentingan *functional requirements* pada QFD dan skala penilaian pada peta morfologi, maka diperoleh pembobotan masing-masing alternatif. Selanjutnya dilakukan pemilihan alternatif berdasarkan bobot tertinggi. Alternatif terpilih tersebut menjadi solusi pada penelitian tugas akhir.

2.1.3. Pemilihan Metode

Berdasarkan studi literatur, terdapat beberapa alternatif metode yang sesuai untuk digunakan pada penelitian tugas akhir, yaitu DMADV, ADDIE, PRISMA, Pengembangan Multimedia Luther-Sutopo, dan *Waterfall*. Sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, yaitu melakukan perancangan alat pengambilan data, maka metode yang akan digunakan adalah metode perancangan. Dari keenam alternatif metode tersebut, metode yang dipilih adalah DMADV. Metode ini digunakan dalam perancangan produk yang belum pernah ada sebelumnya. Perancangan produk menggunakan metode DMADV melibatkan peran konsumen untuk memberikan informasi kebutuhan konsumen dan melakukan pengujian apakah perancangan sudah sesuai kebutuhan konsumen. Hal ini sejalan dengan konsep *Design Thinking Process* yang dilakukan pada penelitian tugas akhir, yaitu diawali dengan tahap *empathize* untuk memahami kebutuhan *stakeholders* dan diakhiri dengan pengujian desain yang dirancang.

Metode ADDIE digunakan untuk mengembangkan suatu desain atau rancangan yang sudah ada sebelumnya. Metode PRISMA digunakan untuk melakukan penilaian (*review*) terhadap sebuah *systematic reviews*. PRISMA berupa panduan untuk strategi pencarian literatur pada suatu *systematic reviews*, misalnya *databases* riset akademik. Metode *Waterfall* dan Pengembangan Multimedia Luther-Sutopo lebih cocok digunakan untuk pengembangan perangkat lunak multimedia. Penelitian tugas akhir ini akan melakukan perancangan produk berupa alat dan berorientasi pada kebutuhan konsumen.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Beban Kerja Fisik

Ketika melakukan pekerjaan, tubuh manusia akan menerima beban dari luar, yang dapat berupa beban fisik maupun mental (Tarwaka dkk, 2004). Penilaian beban kerja fisik dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu secara langsung dan tidak langsung, yang disebut dengan pengukuran secara objektif. Penilaian beban kerja fisik secara langsung dilakukan dengan mengukur konsumsi energi melalui asupan oksigen selama bekerja. Cara ini lebih akurat dibandingkan cara lainnya, namun hanya dapat digunakan untuk pekerjaan dengan waktu singkat dan peralatan yang digunakan relatif mahal. Metode pengukuran beban kerja fisik secara tidak langsung dilakukan dengan mengukur denyut nadi pekerja. Cara ini lebih sederhana, cepat, dan murah untuk dilakukan dibandingkan penilaian beban kerja fisik secara langsung.

Denyut nadi untuk mengestimasi tingkat beban kerja fisik terdiri dari beberapa jenis, yaitu denyut nadi istirahat, denyut nadi kerja, dan nadi kerja. Denyut nadi istirahat adalah rata-rata denyut nadi sebelum melakukan pekerjaan. Denyut nadi kerja adalah rata-rata denyut nadi selama melakukan pekerjaan. Nadi kerja merupakan selisih antara denyut nadi kerja dengan denyut nadi istirahat.

Pengukuran denyut nadi dapat dilakukan dengan metode palpasi (merasakan denyut nadi dengan meraba arteri radialis pada pergelangan tangan). Metode palpasi adalah metode yang dilakukan tanpa menggunakan alat bantu. Pengukuran denyut nadi juga dapat dilakukan dengan menggunakan *stethoscope*, atau menggunakan *electrocardiograph* (ECG). Salah satu rumus untuk menentukan klasifikasi beban kerja berdasarkan denyut nadi adalah %CVL (*cardiovascular load*). Persamaan 2.3 adalah rumus perhitungan %CVL.

$$\%CVL = \frac{100 \times (\text{denyut nadi kerja} - \text{denyut nadi istirahat})}{\text{denyut nadi maksimum} - \text{denyut nadi istirahat}} \quad (2.3)$$

Denyut nadi maksimum dinyatakan dalam Persamaan 2.5 dan 2.6.

$$\text{Denyut nadi maksimum laki-laki} = 220 - \text{umur} \quad (2.4)$$

$$\text{Denyut nadi maksimum perempuan} = 200 - \text{umur} \quad (2.5)$$

Hasil perhitungan %CVL digunakan untuk membandingkan klasifikasi yang ditampilkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Klasifikasi Penanganan Kerja Berdasarkan %CVL

| Penanganan | %CVL |
|---|------------------------------|
| Tidak diperbolehkan melakukan aktivitas | $\%CVL > 100\%$ |
| Memerlukan tindakan segera | $80\% \leq \%CVL \leq 100\%$ |
| Kerja dalam waktu singkat | $60\% \leq \%CVL < 80\%$ |
| Memerlukan perbaikan | $30\% \leq \%CVL < 60\%$ |
| Tidak terjadi kelelahan | $\%CVL < 30\%$ |

2.2.2. *Wearable Sensor*

Sensor merupakan alat yang digunakan untuk mengumpulkan dan meneruskan informasi pada suatu sistem (Meijer dkk, 2014). Salah satu jenis sensor yang digunakan untuk melakukan *monitoring* aktivitas fisik manusia adalah *wearable sensor* atau *wireless body sensor*. Komponen ini merupakan bagian dari *wearable technology* yang meliputi sensor, sensor *networks*, dan perangkat terkait (*associated device*). *Wearable sensor* dapat dikenakan pada tubuh manusia dan bertujuan untuk mengumpulkan data biometrik (Sanei dkk, 2020).

Berikut adalah beberapa contoh *wearable sensor* (Fortino dkk, 2018).

a. *Electrocardiography (ECG)*

Sensor ini digunakan untuk merekam aktivitas listrik jantung pada periode tertentu (termasuk detak jantung). Sensor ini menggunakan elektroda yang dipasang pada permukaan tubuh.

b. *Blood pressure meter*

Nama lain sensor ini adalah *sphygmomanometer*, digunakan untuk mengukur tekanan darah yang terdiri dari tekanan sistolik dan diastolik.

c. *Pulse oximeter*

Pulse oximeter digunakan untuk mengetahui kadar hemoglobin dalam darah. Hemoglobin ini mengikat oksigen, sehingga mampu digunakan untuk mengestimasi kadar oksigen dalam darah. Sensor ini juga dapat digunakan untuk mengetahui denyut nadi per menit.

d. *Electromyography (EMG)*

Sensor EMG dipasang menggunakan elektroda jarum yang dipasang pada bagian tertentu permukaan tubuh untuk memantau aktivitas otot.

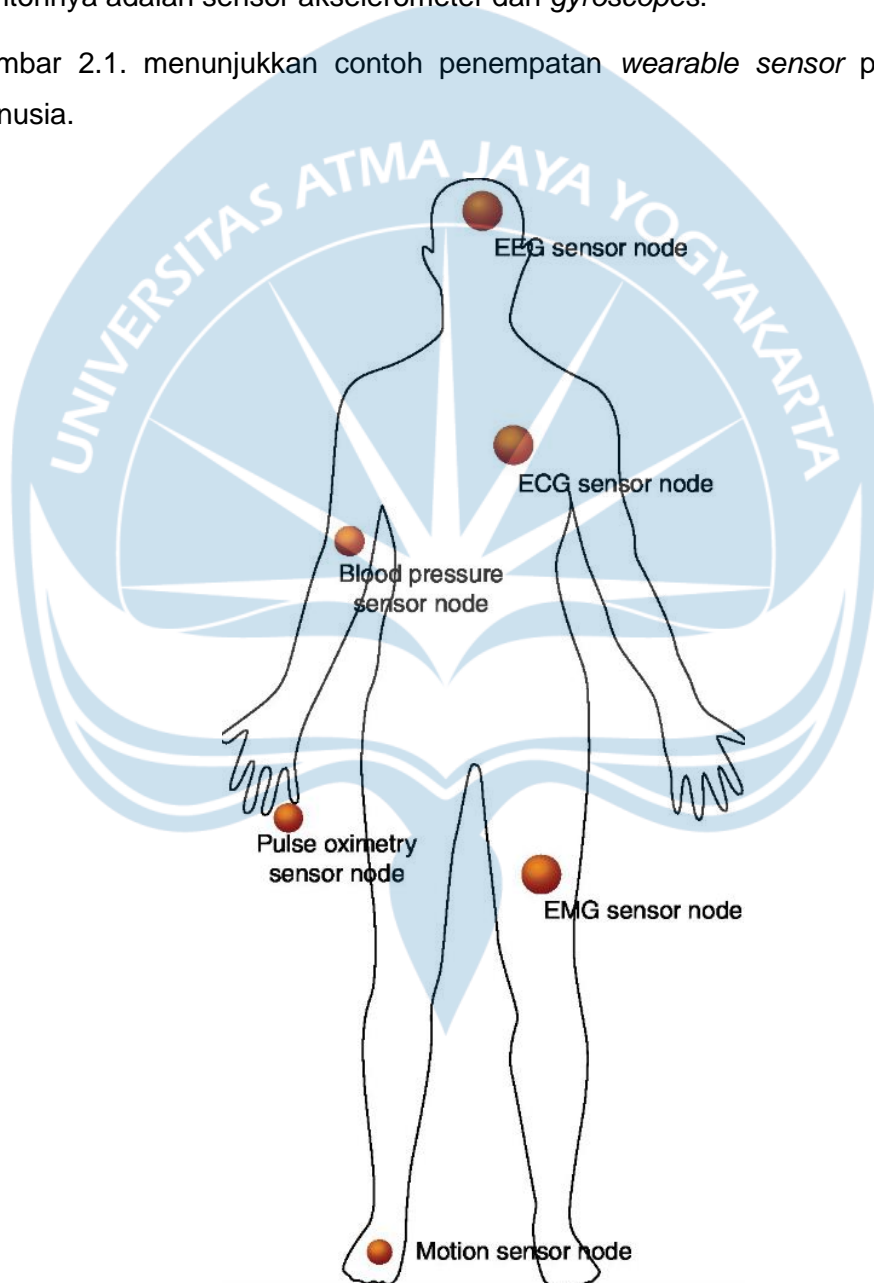
e. *Electroencephalography* (EEG)

Sensor EEG digunakan untuk memantau aktivitas otak dan menangkap perbedaan tipe gelombang otak menggunakan elektroda yang dipasang di bagian tertentu pada kepala.

f. *Motion inertial sensor*

Sensor ini digunakan untuk memantau pergerakan dan gestur tubuh manusia. Contohnya adalah sensor akselerometer dan *gyroscopes*.

Gambar 2.1. menunjukkan contoh penempatan *wearable sensor* pada tubuh manusia.



Gambar 2.1. Contoh Penempatan *Wearable Sensor* pada Tubuh Manusia

(Sumber: Fortino dkk, 2018)

2.2.3. Analisis Sistem Pengukuran (*Measurement System Analysis*)

Sistem pengukuran adalah sekumpulan instrumen pengukur, standar, operasi, metode, perlengkapan, perangkat lunak, personalia, lingkungan, dan asumsi yang digunakan untuk mengukur suatu ukuran atau memperbaiki penilaian terhadap karakteristik fitur yang diukur (Chrysler Group LLC dkk, 2020). Proses pengukuran merupakan proses pemberian nomor/angka untuk mewakili hubungan antar beberapa objek. Data berupa nilai yang diberikan pada proses pengukuran didefinisikan sebagai nilai pengukuran. Untuk menjamin manfaat dari pengukuran, perlu memperhatikan kualitas data yang dihasilkan. Kualitas data pengukuran ditentukan berdasarkan pengujian secara statistik dari beberapa pengukuran yang diperoleh dari sistem pengukuran dalam kondisi yang stabil.

Kualitas data yang rendah paling sering disebabkan oleh variasi yang terlalu banyak. Tingkat variasi data mengakibatkan penginterpretasian data menjadi lebih sulit dan menghasilkan data hasil pengukuran yang tidak diinginkan dan tidak berguna. Variasi dalam proses pengukuran terdiri dari variasi lokasi (*location variation*) dan variasi lebar (*width variation*). Variasi lokasi terdiri dari akurasi, bias, stabilitas, dan linearitas. Sedangkan variasi lebar terdiri dari presisi, pengulangan, sensitivitas, konsistensi, dan keseragaman.

2.2.4. Dimensi Kualitas Data

Dimensi kualitas data digunakan untuk menilai tingkat kualitas suatu data. Penilaian kualitas data diawali dengan pemilihan dimensi kualitas data yang relevan dengan proses bisnis yang ditujukan untuk sebuah data (Jugulum, 2014). Jugulum (2014) menyebutkan terdapat 4 dimensi pokok kualitas data, yaitu kelengkapan (*completeness*), kesesuaian (*conformity*), validitas (*validity*), dan akurasi (*accuracy*).

Kelengkapan didefinisikan sebagai ukuran keberadaan elemen data sumber inti sesuai dengan proses bisnis. Kesesuaian didefinisikan sebagai ukuran kepatuhan atau konsistensi elemen data terhadap format yang dibutuhkan dan ditentukan (seperti tipe data, panjang data, komposisi data, dan lain-lain). Validitas didefinisikan sejauh mana kesesuaian data dengan tabel referensi, daftar nilai dari sumber yang didokumentasikan dalam meta-data, rentang nilai, perhitungan atau aturan tertentu dalam proses bisnis, dan lain-lain. Akurasi didefinisikan sebagai ukuran apakah nilai elemen data sudah mencerminkan keadaan nyata seperti yang diacu pada sumber yang lebih valid.

2.2.5. *Internet of Things*

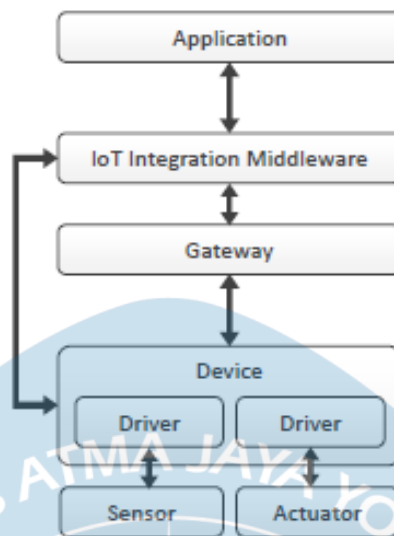
Long (2022) mendefinisikan *Internet of things* (IoT) sebagai kombinasi dari teknologi informasi elektronik dalam kehidupan sehari-hari dalam bentuk data dengan jaringan komunikasi, membentuk koneksi antara beberapa hal (*things*). IoT merupakan teknologi yang mampu menghubungkan beberapa perangkat pintar melalui internet menjadi suatu sistem pengendalian. IoT mampu melakukan analisis data melalui identifikasi, pemosisian, pelacakan, dan *monitoring*, serta menciptakan koneksi antara objek dan jaringan tanpa adanya intervensi manusia. Pencetus konsep IoT adalah Kevin Ashton pada tahun 1999.

Arsitektur IoT terdiri dari beberapa *layer*, diawali dari *layer* paling bawah yaitu *device layer*, *gateway layer*, *IoT integration middleware*, dan *application layer* (Guth dkk, 2016). *Device layer* terdiri dari beberapa sensor dan/atau aktuator yang saling terintegrasi. *Device layer* terdiri dari *driver* yang dapat memproses data dari sensor untuk mengendalikan aktuator.

Device layer terhubung dengan *gateway*. *Gateway layer* berfungsi sebagai jalur komunikasi data yang dihasilkan sensor dan aktuator. *Devices* melakukan komunikasi dengan *gateway* melalui protokol IoT, seperti ZigBee atau MQTT. *Gateway* akan menerjemahkan informasi yang diterima dari *device* kemudian meneruskan data kepada sistem dalam *world wide web*.

IoT integration middleware layer bertugas untuk menerima dan memproses data dari beberapa *device* yang terkoneksi, kemudian meneruskan data tersebut kepada *application layer*. Selain itu, *IoT integration middleware layer* juga berperan ketika suatu *device* melakukan pengendalian dengan mengirim perintah kepada aktuator. *Device layer* dapat melakukan komunikasi dengan *IoT integration middleware layer* jika didukung teknologi komunikasi yang sesuai, seperti Wi-Fi, protokol yang sesuai (seperti HTTP atau MQTT), serta format *payload* yang sesuai (seperti JSON atau XML).

Application layer mewakili aplikasi (*software*) yang digunakan untuk mengendalikan aktuator atau mengakses data sensor. *Application layer* memperoleh data tersebut dari *IoT integration middleware layer*, yaitu perantara *device layer* dengan *application layer*. *Application layer* selain dapat digunakan untuk mengakses data juga dapat digunakan untuk mengolah dan menganalisis data. Arsitektur IoT dijelaskan dalam bentuk skema pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Arsitektur IoT
(Sumber: Guth dkk, 2016)

2.2.6. Metode DMADV

DMADV (*define, measure, analyze, design, and verify*) merupakan salah satu proses dalam DFSS (*design for six sigma*). DFSS adalah sebuah metodologi sistematis yang biasa digunakan oleh *project manager* sebagai alat untuk mengoptimasi proses desain untuk produk, proses, dan jasa untuk meningkatkan kualitas yang tinggi (Park & Antony, 2008). DFSS digunakan dengan tujuan agar produk, proses, dan jasa/layanan yang dihasilkan akan menjadi lebih efisien, dapat diandalkan, dan mampu memenuhi kebutuhan dan ekspektasi *customer*. Berikut adalah diagram aktivitas utama pada masing-masing fase DMADV.

a. Define

Fase *define* fokus pada pemilihan atau pendefinisian *project planning* dan teknologi yang akan digunakan. Fase ini berkaitan dengan pemilihan tema *project* dan membandingkan karakteristik produk yang akan dirancang dengan produk yang sudah ada. Beberapa *tools* yang dilakukan pada fase ini yaitu survei pasar, membuat survei pasar, *technology roadmap*, *tecnology tree*, atau *benchmarking*.

b. Measure and analyze

Fase *measure and analyze* ditujukan untuk melakukan identifikasi *customer requirements*, menerjemahkan *customer requirements* menjadi *functional requirements*. Pembangkitan ide dimulai pada tahap ini, setelah memperoleh *functional requirements* secara terukur. Contoh DFSS *tools* yang dapat digunakan

adalah QFD, survei konsumen/pasar, analisis kano, *feasibility study* dan *risk analysis*, *Gauge R&R*, dan TRIZ (*theory of solving problem inventively*).

c. *Design*

Fase desain merupakan fase untuk membangkitkan dan mengevaluasi alternatif-alternatif desain. Evaluasi desain dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu *robust design*, *design for manufacturability* (DFM), *failure mode and effects analysis*, dan *vulnerability analysis*.

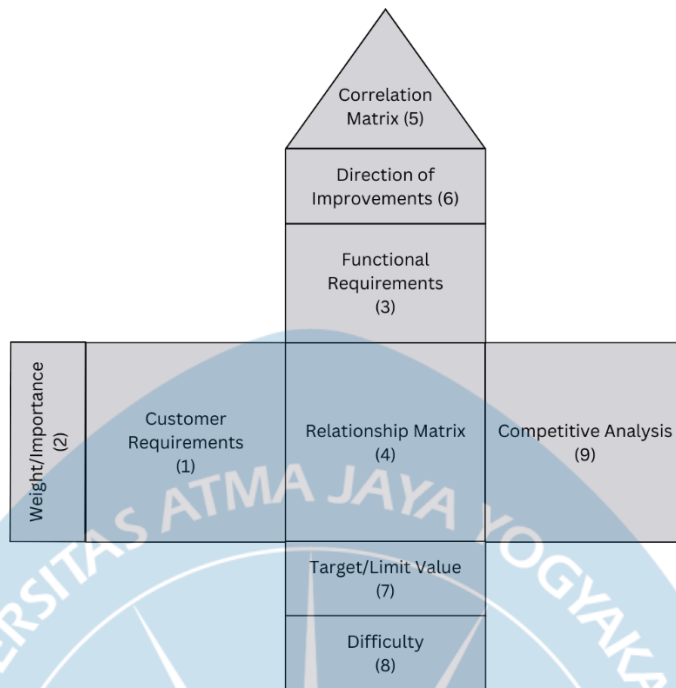
d. *Verify*

Fase terakhir yaitu melakukan verifikasi dan validasi bahwa desain telah memenuhi parameter perancangan dan batas toleransi desain, serta memenuhi spesifikasi yang diinginkan.

2.2.7. Quality Function Deployment (QFD)

QFD merupakan suatu alat perencanaan (*planning tools*) yang berfokus pada kualitas desain dari sebuah produk atau jasa berdasarkan kebutuhan konsumen (Mitra, 2016). Kebutuhan konsumen (*customer requirements* atau “*whats*”) diterjemahkan menjadi kebutuhan perancangan (*technical descriptions* atau “*hows*”) dalam matriks QFD. Matriks QFD sering disebut juga dengan *house of quality*. Pada matriks QFD, masing-masing relasi antara kebutuhan konsumen dan kebutuhan perancang diberikan skor. Pada bagian atas matriks QFD diberikan simbol keterkaitan antar masing-masing kebutuhan perancang. Masing-masing kebutuhan konsumen diberikan skor tingkat kepentingan, dengan skor semakin tinggi menunjukkan tingkat kepentingan yang semakin tinggi. Sedangkan pada masing-masing kebutuhan perancang diberikan skor tingkat kesulitan, dengan skor semakin tinggi menunjukkan tingkat kesulitan yang semakin tinggi.

Berdasarkan Omar dkk (1999), pembuatan QFD dapat dibagi menjadi 2 step. Step 1 terdiri dari pengisian segmen 1, 2, 3, 4, dan 5. sedangkan step 2 terdiri dari pengisian segmen 6, 7, dan 8. Gambar 2.3 menunjukkan skema matriks QFD dengan nomor pada masing-masing segmen.



Gambar 2.3. Matriks QFD

2.2.8. Peta Morfologi

Peta morfologi (*morphological chart*) merupakan tabel yang terdiri dari permasalahan dalam sebuah perancangan (yang disebut fungsi) serta solusi (yang disebut *means*) dari setiap fungsi yang ditemukan (Smith, 2007). Pada perancangan menggunakan *contemporary design process*, fase perancangan dibagi menjadi fase desain konseptual (*conceptual design*), realisasi atau perwujudan desain (*embodiment design*), dan desain detail (*detail design*). Peta morfologi digunakan pada fase konsep desain untuk menemukan solusi prinsip (*principal solution*) dari setiap fungsi yang dikembangkan dari permasalahan dalam perancangan. Solusi prinsip ini nantinya akan dieksplorasi untuk dua fase berikutnya.

Peta morfologi berisi daftar fungsi yang dituliskan secara vertikal pada kolom paling kiri, dan daftar alternatif yang dituliskan secara horizontal pada kolom sebelah kanan. Alternatif-alternatif tersebut disebut *means*. Gambar 2.4. memberikan contoh format umum peta morfologi dengan fungsi yang disimbolkan dengan F_n , dan *means* yang disimbolkan dengan $M_{n,m}$.

| Functions | Means | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|-----------|
| F_1 | $M_{1,1}$ | $M_{1,2}$ | $M_{1,3}$ | ... | $M_{1,m}$ |
| F_2 | $M_{2,1}$ | $M_{2,2}$ | $M_{2,3}$ | ... | $M_{2,m}$ |
| F_3 | $M_{3,1}$ | $M_{3,2}$ | $M_{3,3}$ | ... | $M_{3,m}$ |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| F_n | $M_{n,1}$ | $M_{n,2}$ | $M_{n,3}$ | ... | $M_{n,m}$ |

Gambar 2.4. Format Peta Morfologi

(Sumber Gambar: Smith, 2007)

