

BAB II

KONSEP DESAIN & SPESIFIKASI SISTEM

2.1 Konsep Desain Sistem

Produk yang akan dibuat adalah sistem keamanan terhadap kelalaian mengenakan APD pada lingkungan kerja dengan mesin produksi berbasis visi komputer, terkhusus untuk mesin produksi yang dioperasikan secara langsung oleh pekerja. Sistem keamanan ini akan menggunakan visi komputer yang berjalan pada SBC untuk mendeteksi kelengkapan APD pekerja pada lingkungan kerja dengan mesin produksi secara konstan. Apabila pekerja tidak mengenakan APD secara lengkap, SBC akan menonaktifkan mesin produksi tersebut dengan *relay* yang terhubung padanya. Mempertimbangkan kesalahan deteksi yang mungkin terjadi, SBC tidak akan langsung menonaktifkan mesin melainkan menunggu beberapa hasil deteksi selanjutnya untuk memastikan hasil deteksi awal. Sistem keamanan juga dilengkapi dengan *buzzer* dan lampu LED *bar* sebagai sistem peringatan yang akan berbunyi dan menyala apabila SBC akan menonaktifkan mesin. Adapun pada kasus tertentu, sistem dapat diatur untuk langsung menonaktifkan mesin tanpa peringatan. Sistem juga akan dilengkapi dengan layar sentuh LCD yang menunjukkan tangkapan video dari *webcam* beserta hasil deteksi algoritme supaya pekerja dapat memastikan sistem bekerja dengan baik. Pemilihan mode tanpa peringatan juga dapat dipilih di GUI sederhana di layar sentuh LCD. Adapun komponen-komponen utama yang digunakan adalah *webcam*, Raspberry Pi 4B, layar sentuh LCD, *relay*, *buzzer*, lampu LED *bar*, dan tombol *on/off*.

Sistem keamanan ini berfungsi untuk memenuhi kebutuhan perusahaan manufaktur yang mementingkan keselamatan pekerjanya. Kebutuhan ini bisa muncul dari berbagai macam alasan, seperti kecelakaan kerja yang sering terjadi pada pekerja karena tidak patuh mengenakan APD, sebagai bentuk kepedulian perusahaan terhadap keselamatan pekerjanya, sebagai upaya mengotomatisasi laju produksi, dll. Secara umum sistem keamanan ini diharapkan dapat memberikan solusi untuk menurunkan tren kasus kecelakaan kerja, mendukung munculnya pekerjaan yang layak, dan mencegah penurunan kualitas hidup pekerja di Indonesia.

Sistem keamanan yang sudah terpasang dalam ruangan sebenarnya memerlukan interaksi yang minim sekali dari pengguna. Sistem keamanan akan mendeteksi kelengkapan APD pekerja secara konstan, memberi peringatan apabila pekerja terdeteksi tidak mengenakan APD secara lengkap, dan akhirnya mematikan mesin produksi apabila pekerja tidak kembali mengenakan APD secara lengkap setelah beberapa saat. Pengguna hanya perlu menekan tombol *on/off* untuk

menyalakan dan mematikan sistem keamanan. Sebagai tambahan, pemilihan mode tanpa peringatan juga dapat dipilih oleh pengguna di GUI sederhana di layar sentuh LCD.

Idealnya, sistem keamanan dibuat untuk pabrik-pabrik yang merupakan bagian dari satu perusahaan manufaktur. Visi komputer memantau secara *real-time* seluruh lingkungan kerja atau ruangan di dalam pabrik yang mengharuskan pekerja mengenakan APD. Komputer dapat memutus suplai daya ke mesin pada ruangan tertentu apabila terdapat pekerja yang lalai mengenakan APD pada ruangan tersebut. Namun, mempertimbangkan sumber daya waktu dan biaya peneliti, sistem keamanan lebih aplikatif dibuat hanya untuk satu ruangan. Apabila kedepannya sistem keamanan ingin diaplikasikan ke satu pabrik, sistem keamanan dapat dipasang pada setiap ruangan dan dihubungkan *output*-nya pada satu komputer pemantau utama.

2.2 Spesifikasi Sistem

Berikut ini adalah penjelasan detail spesifikasi sistem keamanan aplikatif yang akan dibuat.

2.2.1 Spesifikasi Fisik Sistem

- Raspberry Pi 4B. Dipilih karena sumber pembelajaran Raspberry Pi yang banyak. Dan seri 4B yang merupakan seri terkuat Raspberry Pi saat penelitian ini ditulis dipilih untuk menunjang komputasi algoritme visi komputer yang berat.
- Raspberry Pi 4B mendapat suplai daya dari adaptor 15 Watt (5V 3A).
- Layar sentuh LCD 7 inci. Dipilih karena dengan fitur layar sentuh proses konfigurasi awal dan *troubleshooting* saat pemasangan menjadi mudah (tidak perlu *mouse* dan *keyboard*), serta menjadi sebuah metode *input* GUI sederhana pemilihan mode tanpa peringatan pada sistem keamanan. Ukuran 7 inci dinilai sudah cukup besar untuk menampilkan hasil deteksi algoritme saat sistem berjalan. Dihubungkan dengan Raspberry Pi 4B dengan kabel HDMI ke *micro* HDMI.
- *Webcam* Logitech C270 beresolusi 720p. Resolusi 720p dinilai cukup karena algoritme visi komputer sendiri akan memproses gambar di 320 x 320 piksel. Dihubungkan dengan Raspberry Pi 4B dengan kabel USB.
- *Buzzer* hitam silinder biasa dengan tegangan *input* 5V. Dihubungkan dengan GPIO Raspberry Pi 4B dengan kabel *jumper*.

- Lampu LED *bar* 30cm. Dapat dipasang di mana saja asalkan masih dalam jangkauan penglihatan pekerja. Dihubungkan dengan Raspberry Pi 4B dengan kabel USB.
- *Relay 5V 1 channel output 250VAC 10A* dengan blok terminal untuk memudahkan aplikasi. Salah satu pin *output* GPIO Raspberry Pi 4B dihubungkan dengan kabel *jumper* ke *input relay*. *Output relay* akan dihubungkan ke stopkontak cabang yang nantinya menjadi tempat mesin produksi mendapat suplai daya. *Relay* akan diletakkan dalam *housing* stopkontak cabang sehingga tidak terlihat dari luar.
- Tombol *on/off* jenis *toggle*. Jika tombol timbul, maka sistem keamanan dalam keadaan mati. Jika tombol tenggelam, maka sistem keamanan dalam keadaan menyala.
- Raspberry Pi 4B, layar sentuh LCD, *buzzer*, dan tombol *on/off* disatukan dalam *enclosure* akrilik. Akrilik dipilih karena kuat dan murah.

2.2.2 Spesifikasi Perangkat Lunak

- Sistem keamanan secara *default* dapat mendeteksi orang, helm proyek kuning dengan *face shield*, *wearpack* hijau lengan panjang, dan sarung tangan jingga. Warna mencolok dan berbeda antar APD dipilih supaya algoritme lebih mudah membedakan APD dengan latar atau dengan APD lainnya.
- Jika sistem mendeteksi 1 orang, maka sistem juga harus mendeteksi 1 helm, 1 *wearpack*, dan 2 sarung tangan (berlaku kelipatan). Jika tidak, maka sistem akan memberi peringatan dan mesin produksi akan dimatikan.
- Sistem akan menunda memberi peringatan sebelum pekerja terdeteksi tidak lengkap mengenakan APD selama 30 *frame* sebagai pencegahan kesalahan deteksi.
- Peringatan diberikan dengan membunyikan *buzzer* dan menyalakan lampu LED *bar* selama 5 detik sebelum mematikan mesin produksi.
- Jika selama peringatan diberikan pekerja terdeteksi kembali mengenakan APD secara lengkap, maka mesin produksi tidak jadi dimatikan.
- Sistem dapat diatur melalui GUI sederhana di layar sentuh LCD untuk langsung menonaktifkan mesin tanpa peringatan (Mode B). Secara *default*, sistem tetap akan memberikan peringatan sebelum menonaktifkan mesin (Mode A).

- Algoritme visi komputer menggunakan model SSD MobileNet V2 FPNLite 320x320 yang akan di-*training* ulang untuk mengenali APD sesuai spesifikasi yang dipaparkan di atas. Model ini dapat mendeteksi objek dari *COCO 2017 dataset* dengan kecepatan 22 ms per *frame* dan mendapat mAP sebesar 22,2. Model ini dinilai cukup akurat dan cepat untuk aplikasi pada penelitian ini.
- Mempertimbangkan ukuran APD yang akan dideteksi dan performa model yang digunakan, seperti yang dipaparkan di BAB I, sistem keamanan ditargetkan mampu diaplikasikan di ruangan 4 x 2 meter persegi (pengujian akan dilakukan di ruang potong B305 Universitas Multimedia Nusantara).

2.2.3 Spesifikasi Sistem Berdasarkan Kemampuan dan Fungsionalitas

Bagian ini menjelaskan lebih detail mengenai spesifikasi yang terdapat di dalam sistem. Penjelasan dalam bagian ini dibagi menjadi parameter apa saja dalam spesifikasi yang ingin dicapai dalam pengembangan produk. Parameter-parameter tersebut adalah:

1. Akurasi dan F1 score

Parameter yang digunakan untuk menilai performa dari algoritme visi komputer adalah akurasi dan F1 score [16]. Ketika algoritme visi komputer mendeteksi sebuah objek, hasil pendeteksiannya dapat dikategorikan ke 4 kuadran seperti pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 - 4 Kuadran Kategorisasi Pendeteksian Objek

		<i>Actual</i>	
		<i>Positive</i>	<i>Negative</i>
<i>Predicted</i>	<i>Positive</i>	<i>True Positive</i>	<i>False Positive</i>
	<i>Negative</i>	<i>False Negative</i>	<i>True Negative</i>

- True Positive* (TP) adalah saat di mana algoritme secara benar mendeteksi sebuah objek tertentu.
- True Negative* (TN) adalah saat di mana algoritme secara benar mendeteksi tidak adanya sebuah objek tertentu.
- False Positive* (FP) adalah saat di mana algoritme mendeteksi sebuah objek tertentu ketika sebenarnya objek itu tidak ada.
- False Negative* (FN) adalah saat di mana algoritme tidak mendeteksi sebuah objek tertentu ketika sebenarnya objek itu ada.

Akurasi adalah jumlah pendeteksian yang benar dibagi dengan seluruh jumlah pendeteksian. *F1 score* adalah rata-rata harmonik dari presisi dan *recall*. Presisi adalah nilai yang menunjukkan seberapa mungkin algoritme mendeteksi objek dengan benar. Sementara, *recall* adalah nilai yang menunjukkan seberapa mungkin algoritme dapat mendeteksi sebuah objek [16]. Berikut adalah rumus untuk parameter-parameter tersebut.

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (1)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

$$F1\ Score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (4)$$

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya [16][17][18][19], peneliti menentukan bahwa algoritme visi komputer produk minimal mencapai nilai 0,9 untuk akurasi dan *F1 score*. Adapun aspek-aspek yang menentukan performa algoritme ini adalah banyaknya *dataset* (gambar objek yang ingin dideteksi serta *bounding box* dan labelnya) yang dipakai untuk *training*, banyaknya *step* dari *training*, dan kualitas *dataset*.

2. Dimensi Produk

Untuk *enclosure* perangkat keras maksimal berukuran 25 x 20 x 5 cm, *webcam* (dengan *mounting clip*) berukuran 73 x 67 x 32 mm, lampu LED *bar* berukuran 30 x 2 x 1,5 cm dan stopkontak cabang (tidak termasuk kabel) maksimal berukuran 20 x 6 x 4 cm.

3. Konsumsi Daya

Komponen kelistrikan selain Raspberry Pi 4B akan diberi daya oleh Raspberry Pi 4B itu sendiri sehingga konsumsi daya maksimum sistem secara keseluruhan adalah konsumsi daya maksimum Raspberry Pi 4B yaitu 15 Watt.

4. *Ease-of-Use*/Kemudahan Penggunaan

Sistem keamanan yang sudah terpasang dalam ruangan memerlukan interaksi yang minim sekali dari pengguna sehingga dari segi kemudahan penggunaan, sistem ini sangat mudah untuk digunakan. Sistem keamanan akan mendeteksi kelengkapan APD pekerja secara konstan, memberi peringatan apabila pekerja terdeteksi tidak mengenakan APD secara lengkap, dan akhirnya mematikan mesin produksi apabila pekerja tidak

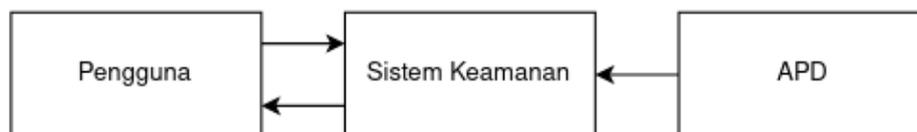
kembali mengenakan APD secara lengkap setelah beberapa saat. Pengguna hanya perlu menekan tombol *on/off* untuk menyalakan dan mematikan sistem keamanan.

5. Kekuatan/Kestabilan Sistem

Sistem keamanan ini memenuhi persyaratan untuk mendapatkan sertifikasi IP 20 yang berarti *enclosure* terlindungi dari benda asing padat lebih besar dari 12,5 milimeter, serta tidak ada perlindungan khusus terhadap masuknya air. Hal ini dibuktikan pada bagian 4.3 Pengujian Standar IP 20. Selain itu, kekuatan sistem sebenarnya sama dengan barang elektronik lainnya. Untuk menghindari kerusakan, dapat dilakukan perawatan seperti yang tertera di 2.2.5 Spesifikasi Sistem Berdasarkan Keandalan dan Perawatan.

Berikut ini adalah analisis spesifikasi produk berdasarkan fungsionalitas sistem menggunakan *Data Flow Diagram* (DFD) dengan level mulai dari level 0 untuk hubungan sistem dengan lingkungan luar, level 1 untuk keseluruhan sistem, hingga ke level 2 untuk masing-masing subsistem. Untuk sekarang, tidak ada kompatibilitas dengan subsistem tambahan karena ketiga subsistem di bawah dinilai sudah cukup bagi sistem keamanan untuk melakukan tugas-tugasnya.

Gambar 2.1 berikut ini adalah DFD level 0 sistem keamanan, serta penjelasannya pada Tabel 2.2.

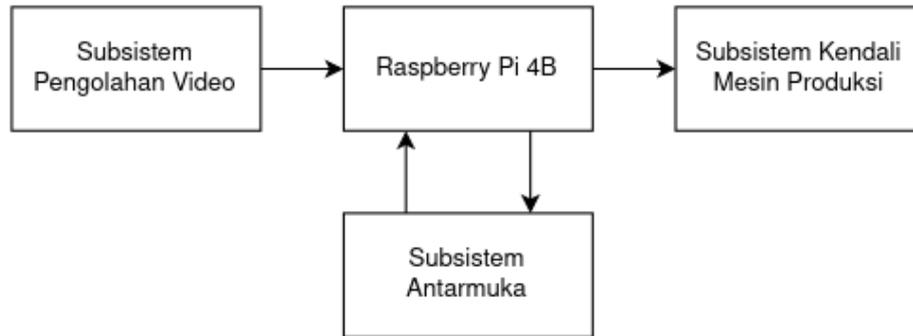


Gambar 2.1 - DFD Level 0 Sistem Keamanan

Tabel 2.2 - Penjelasan DFD Level 0 Sistem Keamanan

Parameter	Keterangan
Input	<ul style="list-style-type: none"> Memasang, menyalakan, memakai, dan mematikan sistem keamanan oleh pengguna Video APD yang dikenakan pekerja
Output	<ul style="list-style-type: none"> Peringatan apabila pekerja tidak mengenakan APD secara lengkap Hasil deteksi algoritme visi komputer secara <i>real-time</i> Menonaktifkan mesin produksi setelah peringatan berjalan sekian lama
Fungsi	<ul style="list-style-type: none"> Menghindari pekerja dari kecelakaan kerja akibat mengoperasikan mesin produksi

Gambar 2.2 berikut ini adalah DFD level 1 sistem keamanan, serta penjelasannya pada Tabel 2.3.

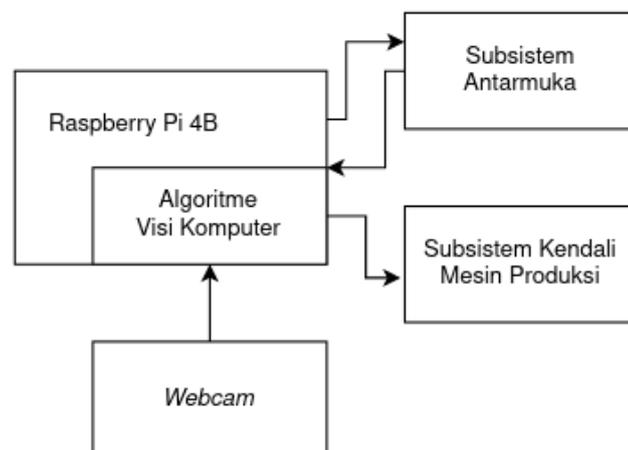


Gambar 2.2 - DFD Level 1 Sistem Keamanan

Tabel 2.3 - Penjelasan DFD Level 1 Sistem Keamanan

Parameter	Keterangan
Input	<ul style="list-style-type: none"> • Subsistem pengolahan video • Subsistem antarmuka
Output	<ul style="list-style-type: none"> • Subsistem antarmuka • Subsistem kendali mesin produksi
Fungsi	<ul style="list-style-type: none"> • Menghindari pekerja dari kecelakaan kerja akibat mengoperasikan mesin produksi

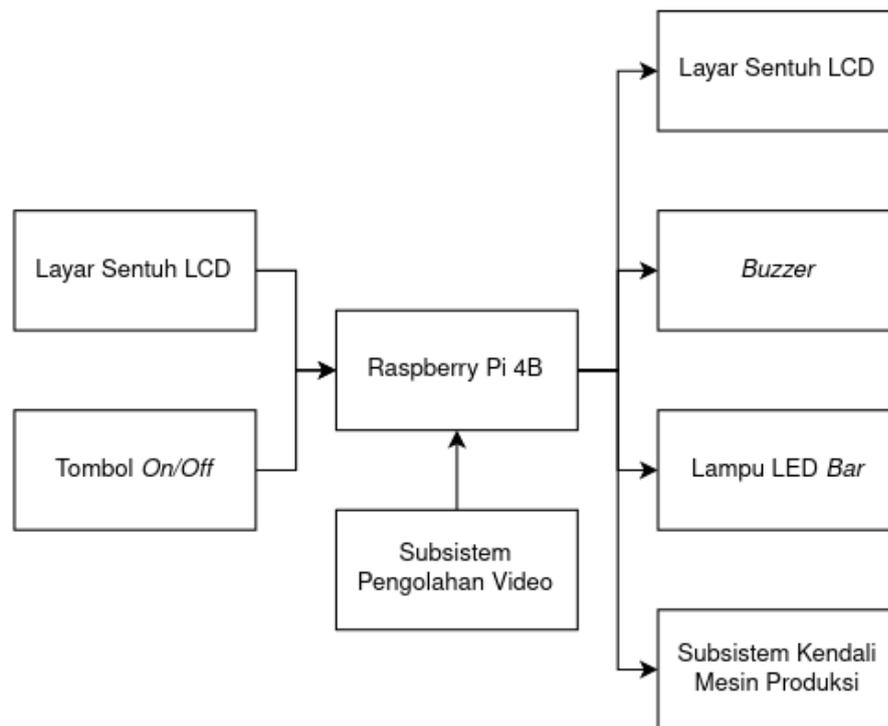
Gambar 2.3, 2.4, dan 2.5 berikut ini adalah DFD level 2 sistem keamanan, serta penjelasannya secara berurutan terdapat pada Tabel 2.4, 2.5, dan 2.6.



Gambar 2.3 - DFD Level 2 Subsistem Pengolahan Video

Tabel 2.4 - Penjelasan DFD Level 2 Subsistem Pengolahan Video

Parameter	Keterangan
<i>Input</i>	<ul style="list-style-type: none"> Tangkapan video dari <i>webcam</i>. Video berisi pekerja yang sedang mengoperasikan mesin produksi dengan APD
<i>Output</i>	<ul style="list-style-type: none"> Subsistem antarmuka Subsistem kendali mesin produksi
Fungsi	<ul style="list-style-type: none"> Mendeteksi kelengkapan APD pekerja dengan algoritme visi komputer

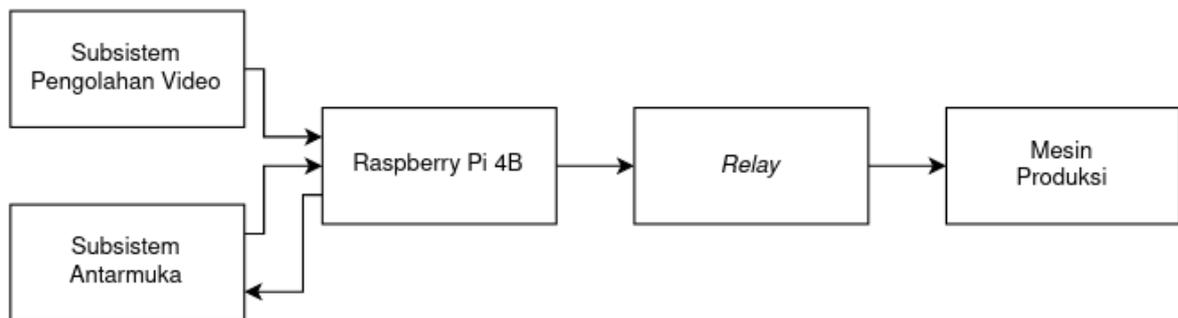


Gambar 2.4 - DFD Level 2 Subsistem Antarmuka

Tabel 2.5 - Penjelasan DFD Level 2 Subsistem Antarmuka

Parameter	Keterangan
<i>Input</i>	<ul style="list-style-type: none"> Kondisi tombol <i>on/off</i>. Apabila dalam kondisi <i>on</i> (tombol tenggelam), maka sistem menyala. Apabila dalam kondisi <i>off</i> (tombol timbul), maka sistem mati Status mode dari <i>input</i> layar sentuh LCD ke GUI sederhana. Mode B dipilih untuk langsung menonaktifkan mesin tanpa peringatan. Secara <i>default</i>, Mode A dipilih, sistem tetap akan memberikan peringatan sebelum menonaktifkan mesin Subsistem pengolahan video
<i>Output</i>	<ul style="list-style-type: none"> Layar sentuh LCD menampilkan hasil deteksi algoritme oleh subsistem pengolahan video saat sistem berjalan <i>Buzzer</i> berbunyi dan lampu LED <i>bar</i> menyala sebagai sistem peringatan apabila pekerja terdeteksi tidak

	<p>mengenakan APD secara lengkap oleh subsistem pengolahan video (Mode A, sistem peringatan tidak aktif pada Mode B)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Subsistem kendali mesin produksi
Fungsi	<ul style="list-style-type: none"> • Sebagai sebuah cara sistem berkomunikasi dengan lingkungan luar atau pengguna



Gambar 2.5 - DFD Level 2 Subsistem Kendali Mesin Produksi

Tabel 2.6 - Penjelasan DFD Level 2 Subsistem Kendali Mesin Produksi

Parameter	Keterangan
Input	<ul style="list-style-type: none"> • Subsistem pengolahan video • Subsistem antarmuka
Output	<ul style="list-style-type: none"> • Apabila pekerja terdeteksi tidak mengenakan APD secara lengkap oleh subsistem pengolahan video dan sistem peringatan dari subsistem antarmuka sudah berjalan sekian lama (Mode A, langkah ini dilewatkan pada Mode B), maka mesin produksi akan dimatikan dengan <i>relay</i>
Fungsi	<ul style="list-style-type: none"> • Sebagai sebuah cara sistem untuk mengendalikan mesin produksi

2.2.4 Spesifikasi Sistem Berdasarkan Standardisasi

Bagian ini menjelaskan mengenai standardisasi industri yang harus diikuti oleh produk yang akan dikerjakan. Standardisasi industri tersebut adalah:

1. SNI 04-6292.1-2003, mengenai peranti listrik rumah tangga dan sejenisnya, bidang keselamatan, bagian persyaratan umum.
2. SNI IEC 60309-1:1999+Amd.1:2005+Amd.2:2012, mengenai steker, stopkontak, dan kopler untuk keperluan industri, bagian persyaratan umum (IEC 60309-1:1999+Amd.1:2005+Amd.2:2012, IDT).
3. SNI 04-6203.1-2006, mengenai sakelar untuk instalasi listrik tetap rumah tangga dan sejenisnya, bagian persyaratan umum.
4. SNI IEC 61058-1:2016, mengenai sakelar untuk peranti, bagian persyaratan umum (IEC 61058-1:2016, IDT, Eng).

5. IEC 60824:1988, mengenai terminologi yang berkaitan dengan mikroprosesor.
6. ISO 45001:2018, mengenai sistem manajemen dan keselamatan kerja, bagian persyaratan dengan panduan penggunaan.
7. ISO 7823-1:2003, mengenai plastik, bidang jenis, dimensi, dan karakteristik lembar *poly(methyl methacrylate)* atau akrilik, bagian *cast sheets*.
8. IP 42. IP merupakan standar mengenai proteksi produk terhadap debu, interaksi dengan anggota tubuh manusia, dan cipratan air. IP 42 berarti terlindungi dari alat dan kabel lebih besar dari 1 milimeter, serta terlindungi dari semprotan air kurang dari 15 derajat dari vertikal.
9. CEA 861-F-2013 (ANSI), mengenai protokol, persyaratan, dan rekomendasi untuk pemanfaatan antarmuka digital yang tidak terkompresi oleh perangkat elektronik konsumen seperti televisi digital, kabel digital, kotak satelit atau STB, dan perangkat periferal terkait. Standardisasi ini digunakan pada transfer data video melalui koneksi HDMI.
10. USB-IF USB 2.0, mengenai spesifikasi untuk kabel, konektor, dan protokol untuk koneksi, komunikasi, dan catu daya (*interfacing*) antara komputer, periferal, dan komputer lainnya.

2.2.5 Spesifikasi Sistem Berdasarkan Keandalan dan Perawatan

Bagian ini membahas mengenai target jam maksimum penggunaan produk dan target waktu perbaikan saat produk mengalami kerusakan. Dengan menggunakan analisis *mean time before failure* (MTBF), target MTBF adalah 8000 jam (sekitar 1 tahun) dan analisis *mean time to repair* (MTTR), target MTTR adalah 670 jam (sekitar 1 bulan). Berikut ini adalah deskripsi singkat tentang cara perawatan produk yang baik.

- Pastikan sistem mendapat suplai daya atau listrik yang stabil.
- Bersihkan sistem dari debu, kotoran, dan sebagainya apabila berpotensi atau sudah mengganggu kinerja sistem.
- Simpan di tempat yang tidak terkena sinar matahari langsung, kering, dan rata apabila tidak digunakan.

2.2.6 Spesifikasi Sistem Berdasarkan *Constraint*/Hambatan

Bagian ini membahas mengenai *constraint* yang menjadi hambatan spesifikasi sistem. Berikut adalah spesifikasi sistem berdasarkan *constraint*/hambatan.

- Bobot sistem maksimum adalah 3 kg.
- Biaya material sistem tidak lebih dari 5 juta.

- Dimensi sistem untuk *enclosure* perangkat keras maksimal berukuran 25 x 20 x 5 cm, *webcam* (dengan *mounting clip*) berukuran 73 x 67 x 32 mm, lampu LED *bar* berukuran 30 x 2 x 1,5 cm, dan stopkontak cabang (tidak termasuk kabel) maksimal berukuran 20 x 6 x 4 cm.
- *Buzzer* dan lampu LED *bar* ditambahkan sebagai peringatan bahwa sistem tidak mendeteksi APD pekerja secara lengkap karena ada kemungkinan *webcam* tidak dapat menangkap kelengkapan APD pekerja dengan baik.
- Mempertimbangkan ukuran APD yang akan dideteksi dan performa model yang digunakan, sistem keamanan ditargetkan mampu diaplikasikan di ruangan 4 x 2 meter persegi (pengujian akan dilakukan di ruang potong B305 Universitas Multimedia Nusantara).

2.3 Metode Verifikasi Spesifikasi

Spesifikasi produk yang dijanjikan akan dianalisis dan diverifikasi tingkat keberhasilannya melalui sebuah prosedur pengujian. Oleh karena itu, *feasibility study* sudah dilakukan sebelum melakukan penulisan agar spesifikasi yang dijanjikan tidak terlalu muluk, tetapi tetap layak diajukan sebagai topik Tugas Akhir. Bagian ini akan membahas subsistem atau modul apa saja yang akan dipakai dalam sistem dan metode verifikasinya.

2.3.1 Prosedur Pengujian

Bagian ini sepenuhnya membahas prosedur-prosedur pengujian untuk setiap modul atau subsistem. Prosedur-prosedur tersebut adalah:

- Menguji kinerja Raspberry Pi 4B dengan memberikannya suplai daya dan melihat apakah Raspberry Pi 4B
 - mengeluarkan *output display* dari HDMI,
 - dapat membuka aplikasi bawaan seperti Chromium atau Thonny, dan
 - mengeluarkan tegangan 5V pada pin 5V GPIO.
- Menguji kinerja layar sentuh LCD 7 inci dengan menghubungkannya dengan Raspberry Pi 4B dan melihat apakah terdapat *output display* dari Raspberry Pi 4B ke layar sentuh LCD, serta fungsi sentuh bekerja dengan baik.
- Menguji kinerja *webcam* Logitech C270 dengan menghubungkannya dengan Raspberry Pi 4B dan melihat apakah *webcam* dapat menangkap video dan video tersebut ter-*display* di layar sentuh LCD.

- Menguji kinerja *buzzer* dengan menghubungkannya dengan salah satu pin GPIO Raspberry Pi 4B, mengirimkan sinyal HIGH, dan melihat apakah *buzzer* dapat mengeluarkan suara.
- Menguji kinerja lampu LED *bar* dengan menghubungkannya dengan Raspberry Pi 4B dan melihat apakah lampu LED *bar* dapat menyala.
- Menguji kinerja *relay* dengan menghubungkannya dengan salah satu pin GPIO Raspberry Pi 4B, mengirimkan sinyal HIGH, dan melihat apakah *relay* berbunyi dan terminal COM dan NO ter-*short*.
- Menguji kinerja tombol *on/off* dengan multimeter dan melihat apakah terjadi perubahan kondisi antara *short* dan *open* apabila tombol ditekan atau dilepas.

Apabila seluruh komponen di atas berhasil memenuhi syarat-syarat pengujiannya, maka seluruh komponen di atas bekerja dengan baik dan layak dipakai.

Prosedur terakhir adalah membangun algoritme visi komputer sehingga dapat mendeteksi APD sesuai dengan spesifikasi, menggabungkan seluruh komponen tersebut ke dalam sistem keamanan yang utuh, dan melihat apakah sistem keamanan dapat berjalan sesuai dengan definisi, fungsi, spesifikasi, dan parameter-parameter yang ingin dicapai.

Seluruh prosedur ini akan dipakai untuk menentukan ketercapaian spesifikasi yang dijanjikan.

2.3.2 Analisis Toleransi

Pencahayaan ruangan tempat pengujian (ruang potong B305 Universitas Multimedia Nusantara) banyak dipengaruhi oleh pencahayaan dari luar karena jendela yang besar. Dengan begitu, pencahayaan ruangan tidak konstan setiap waktu. Dikhawatirkan performa algoritme visi komputer menjadi bergantung pada pencahayaan ruangan. Untuk menanggulangi hal ini, pengambilan gambar APD pada pekerja untuk *training* algoritme dilakukan untuk berbagai macam kondisi pencahayaan, seperti pada hari saat cuaca terik, mendung, atau hujan, serta pada hari saat pagi, siang, atau sore. Pengambilan gambar dapat dilakukan terus-menerus sampai performa algoritme mencapai spesifikasi yang dipaparkan di 2.2.3 Spesifikasi Sistem Berdasarkan Kemampuan dan Fungsionalitas.

2.3.3 Pelaksanaan Pengujian

Mempertimbangkan ukuran APD yang akan dideteksi dan performa model yang digunakan, seperti yang dipaparkan di BAB I, sistem keamanan akan diaplikasikan di ruang potong B305 Universitas Multimedia Nusantara.