

DOKUMEN TEKNIS PENGUJIAN DAN ANALISIS PRODUK

5.1 Pendahuluan

5.1.1. Ringkasan Isi Dokumen

Dokumen ini membahas tentang pengujian yang dilakukan untuk mengetahui ketercapaian fungsionalitas sistem terhadap spesifikasi yang dijanjikan dan verifikasi hasil implementasi berdasarkan desain rancangan sistem. Pengujian dilakukan untuk setiap subsistem dan sistem secara keseluruhan. Penjelasan pengujian meliputi bagaimana pengujian dilakukan, parameter yang menjadi fokus pengujian, hasil yang didapatkan dan analisis hasil pengujian yang didapatkan. Di bagian akhir dokumen ditambahkan rencana pengembangan produk selanjutnya berdasarkan analisis yang didapatkan.

5.1.2. Tujuan Penulisan, Aplikasi dan Fungsi Dokumen

Dokumen ini berlaku untuk pengembangan produk Voice Interactive Learning Robot untuk :

- 1) Dokumentasi proses pengujian dan verifikasi desain dan implementasi sistem dan subsistem dari produk Voice Interactive Learning Robot yang dikerjakan.
- 2) Penjabaran proses dan langkah pengujian tiap bagian, tahap per tahap, menyesuaikan dengan spesifikasi yang dijanjikan.
- 3) Menjadi acuan untuk penilaian ketercapaian spesifikasi yang dijanjikan, kesesuaian rancangan dan implementasi, dan ketercapaian penyelesaian masalah yang diangkat.
- 4) Pemenuhan komponen penilaian mata kuliah Skripsi di lingkup Program Studi Teknik Elektro.

5.2. Pengujian dan Analisis Hasil Produk

Dalam dokumen sebelumnya, telah dilakukannya implementasi untuk setiap subsistem besertakan dengan implementasi desain fisik sebagaimana yang telah dirancang pada dokumen sebelum-sebelumnya. Terdapat beberapa perubahan antara implementasi dengan rancangan yang disebabkan adanya kurangnya kompatibilitas dari perangkat ataupun komponen-komponen yang digunakan dalam pengembangan produk. Untuk itu, peneliti melakukan penyesuaian komponen dan perangkat agar produk bisa berjalan dengan sebagaimana mestinya. Keseluruhan dari implementasi tersebut kemudian akan diuji baik untuk masing-masing subsistem maupun secara keseluruhan produk. Pengujian ini memiliki tujuan untuk melihat bagaimana kinerja dari setiap subsistem dalam melakukan tugasnya dan akan dilihat serta dianalisis hasil dari pengujian setiap subsistem.

5.2.1. Pengujian Subsistem Speech Recognition

Subsistem pertama yang akan diuji adalah subsistem *speech recognition* yang akan dilakukan oleh perangkat Raspberry Pi dan dibantu dengan program yang dapat merekam suara serta model *machine learning* yang dapat mengklasifikasikan atau memprediksi suara perintah yang diberikan oleh pengguna. Suara perintah yang diberikan oleh pengguna akan direkam oleh *microphone webcam* yang telah terhubung dengan Raspberry Pi dan disimpan di dalam folder yang sudah ditentukan. Suara yang telah tersimpan tersebut kemudian akan dimasukkan kedalam program model *machine learning* untuk dilakukan proses klasifikasi suara berdasarkan kelas kata yang telah dibuat. Setelah klasifikasi dilakukan, program akan mengirimkan data berupa nilai *integer* kepada subsistem selanjutnya untuk digunakan sebagai penentu pergerakan robot seperti maju, kanan, kiri, duduk, joget, dan tegak.

5.2.1.1. Lingkup Pengujian

Terdapat objektif yang perlu dicapai dari subsistem *speech recognition* selama dilakukannya pengujian. Objektif pengujian yang dilakukan pada subsistem *speech recognition* ini adalah pengujian pemrosesan klasifikasi suara perintah oleh model *machine learning*. Pengujian tersebut memiliki tujuan untuk menguji keberhasilan model *machine learning* dalam mengklasifikasikan suara perintahan yang diterima secara langsung oleh *microphone webcam*.

5.2.1.2. Konfigurasi Pengujian

Selama melakukan pengujian subsistem *speech recognition*, terdapat beberapa konfigurasi perangkat atau komponen yang digunakan untuk menunjang keberhasilan pengujian. Berikut adalah konfigurasi komponen pengujian yang digunakan.

1. Raspberry Pi 4 dengan *software* Thonny IDE

2. Raspberry Pi 4 dengan *library* Tensorflow 2.8.0
3. Raspberry Pi 4 dengan *library* Librosa
4. Raspberry Pi 4 dengan *library* Pyaudio
5. Raspberry Pi 4 dengan *library* Numpy
6. Webcam Logitech C270
7. Kabel HDMI
8. Monitor dengan *port* HDMI
9. Kabel *converter* VGA to HDMI (Digunakan apabila monitor hanya memiliki *port* VGA)

5.2.1.3. Syarat Pengujian

Pada pengujian subsistem *speech recognition* yang dilakukan oleh peneliti, terdapat beberapa batasan tertentu yang digunakan agar pengujian yang dilakukan bisa lebih terarah dan sesuai dengan kapabilitas dari perangkat atau komponen yang digunakan. Berikut merupakan syarat-syarat pengujian dari subsistem yang dilakukan.

1. Pengujian model *machine learning* pada perangkat Raspberry Pi dilakukan secara *open loop*.
2. Pengujian dilakukan dengan dua kondisi ruangan yang berbeda yaitu dengan kondisi ruangan dengan banyak suara atau bising dan dengan kondisi ruangan ideal atau cukup hening untuk mengetahui kemampuan klasifikasi model.
3. Pengujian dilakukan dengan dua kondisi jarak antara *microphone webcam* dan mulut yang berbeda yaitu dengan jarak kurang lebih 30-40 cm dan jarak kurang lebih 10-20 cm untuk mengetahui kemampuan klasifikasi model.
4. Terdapat total 7 kelas kata yang mampu diklasifikasikan oleh robot yaitu maju, kanan, kiri, duduk, tegak, joget, dan mundur.
5. Terdapat tambahan satu kata yang dapat diklasifikasikan tetapi tidak digunakan dalam pergerakan robot yaitu kata mundur.
6. Pengujian dilakukan dengan kondisi *microphone webcam* diarahkan menghadap ke mulut.
7. Perekaman yang dilakukan oleh *microphone webcam* akan memiliki durasi 2 detik.
8. Hasil dari pengujian akan berupa penulisan kelas kata yang dilakukan oleh program dan dapat dilihat melalui *shell* Thonny IDE.

5.1.2.4. Prosedur Pengujian dan Verifikasi

Pengujian subsistem *speech recognition* dilakukan dengan mengikuti prosedur-prosedur yang telah ditentukan oleh peneliti agar bisa didapatkan hasil yang sesuai dan dapat diverifikasikan kebenaran data hasil pengujian. Prosedur pengujian dibuat secara urut dimulai dari awal pengujian sampai akhir pengujian yang berupa data pengujian keseluruhan subsistem yang diuji. Berikut adalah serangkaian prosedur pengujian yang dilakukan oleh peneliti untuk menguji subsistem *speech recognition*.

1. Pengujian pemrosesan klasifikasi suara perintah oleh model *machine learning* berdasarkan suara perintah yang disimpan pada folder yang telah ditentukan. Terdapat enam tahapan dalam pengujian ini, yaitu:
 - a. Pengujian atau pengambilan data dari percobaan subsistem ini dilakukan sebanyak 20 kali per kelas kata dengan empat kondisi yang berbeda.
 - b. Terdapat total 6 kelas kata yang digunakan, yaitu maju, kanan, kiri, joget, duduk, dan tegak.
 - c. Total data yang didapatkan dari empat kali percobaan dengan kondisi yang berbeda adalah 480 data dengan data per kondisi sebanyak 120 data.
 - d. Suara perintah akan direkam oleh *microphone webcam* selama 2 detik dan kemudian akan disimpan pada folder tertentu.
 - e. Model *machine learning* akan mengambil suara perintah yang telah disimpan pada folder tertentu kemudian melakukan proses klasifikasi atau pemrosesan suara.
 - f. Hasil dari klasifikasi tersebut adalah program akan menyimpan nilai indeks dari kelas kata yang didapatkan dari hasil pemrosesan untuk dikirimkan ke subsistem selanjutnya dan melakukan penulisan kelas kata tersebut pada *shell* untuk mengetahui hasil klasifikasi.

Keberhasilan dari pengujian subsistem akan ditentukan berdasarkan parameter-parameter keberhasilan pengujian yang sebelumnya sudah ditetapkan agar dapat dilakukan verifikasi data. Berikut adalah parameter-parameter yang ditetapkan sebagai penentu keberhasilan pengujian subsistem.

1. *Microphone webcam* mampu menerima suara perintah yang diberikan oleh pengguna.
2. Program perekam suara yang dibuat mampu melakukan perekaman selama 2 detik dan kemudian menyimpannya dalam folder yang telah ditentukan.

3. Program pemrosesan suara perintah mampu menggunakan data suara perintah yang tersimpan pada folder untuk digunakan oleh model *machine learning*.
4. Model *machine learning* mampu melakukan klasifikasi suara perintah sesuai dengan perintah yang diberikan setidaknya 75% dari 20 kali pengambilan data per kelas kata.

5.2.1.5. Hasil Pengujian

Setelah melakukan proses pengujian subsistem *speech recognition* dengan mengikuti prosedur-prosedur serta mengikut persyaratan pengujian, didapatkan beberapa hasil data pengujian untuk dianalisis lebih lanjut. Hasil pengujian yang didapatkan berupa kelas kata yang dihasilkan oleh model *machine learning* sebagai keluaran dari pemrosesan suara perintah yang diberikan oleh pengguna dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan model dalam melakukan klasifikasi suara perintah secara langsung. Berikut adalah hasil dari pengujian model *machine learning* dengan empat kondisi yang berbeda.

1. Pengujian Model Machine Learning Kondisi Bising dengan Jarak 10 – 20 cm.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan pembacaan dan klasifikasi dari model *machine learning* pada saat kondisi ruangan bising dan dengan jarak antara mulut pengguna dan *microphone webcam* kurang lebih 10 – 20 cm. Hasil dari pemrosesan model *machine learning* akan dibandingkan dengan kata perintah yang disebutkan oleh pengguna untuk kemudian diketahui seberapa besar keberhasilan model dalam melakukan klasifikasi suara perintah.

Tabel 5.1 Hasil Keberhasilan Klasifikasi Kondisi Bising dengan Jarak 10 – 20 cm

No	Maju	Kanan	Kiri	Duduk	Tegak	Joget
1	Duduk	Mundur	Tegak	Duduk	Maju	Duduk
2	Duduk	Kanan	Duduk	Duduk	Kanan	Mundur
3	Tegak	Duduk	Tegak	Tegak	Maju	Mundur
4	Mundur	Duduk	Tegak	Duduk	Kanan	Tegak
5	Maju	Mundur	Duduk	Mundur	Maju	Maju
6	Duduk	Tegak	Duduk	Duduk	Tegak	Kanan
7	Tegak	Kanan	Mundur	Duduk	Duduk	Mundur
8	Kanan	Kanan	Tegak	Duduk	Kanan	Mundur
9	Kanan	Kanan	Tegak	Mundur	Kanan	Tegak
10	Duduk	Kanan	Kanan	Tegak	Maju	Duduk
11	Tegak	Kanan	Duduk	Mundur	Tegak	Tegak
12	Kanan	Maju	Mundur	Mundur	Duduk	Tegak
13	Maju	Duduk	Tegak	Tegak	Duduk	Tegak
14	Maju	Maju	Mundur	Mundur	Kanan	Mundur
15	Kanan	Maju	Tegak	Duduk	Maju	Duduk
16	Tegak	Kanan	Mundur	Mundur	Kanan	Duduk

17	Duduk	Tegak	Tegak	Mundur	Kanan	Tegak
18	Mundur	Mundur	Kanan	Duduk	Duduk	Mundur
19	Mundur	Duduk	Kanan	Tegak	Mundur	Tegak
20	Maju	Mundur	Duduk	Tegak	Mundur	Kanan
Total Keberhasilan	4	7	0	8	2	0
Persentase Keberhasilan	20%	35%	0%	40%	10%	0%

2. Pengujian Model Machine Learning Kondisi Bising dengan Jarak 30 – 40 cm

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan pembacaan dan klasifikasi dari model *machine learning* pada saat kondisi ruangan bising dan dengan jarak antara mulut pengguna dan *microphone webcam* kurang lebih 30 – 40 cm. Hasil dari pemrosesan model *machine learning* akan dibandingkan dengan kata perintah yang disebutkan oleh pengguna untuk kemudian diketahui seberapa besar keberhasilan model dalam melakukan klasifikasi suara perintah.

Tabel 5.2 Hasil Keberhasilan Klasifikasi Kondisi Bising dengan Jarak 30 – 40 cm

No	Maju	Kanan	Kiri	Duduk	Tegak	Joget
1	Maju	Duduk	Tegak	Maju	Kanan	Mundur
2	Kanan	Duduk	Duduk	Kanan	Kanan	Duduk
3	Tegak	Duduk	Kanan	Kanan	Tegak	Duduk
4	Mundur	Tegak	Duduk	Kanan	Kanan	Mundur
5	Maju	Tegak	Tegak	Maju	Kanan	Mundur
6	Kanan	Tegak	Tegak	Mundur	Kanan	Duduk
7	Kanan	Mundur	Duduk	Duduk	Duduk	Duduk
8	Tegak	Kanan	Duduk	Duduk	Duduk	Tegak
9	Mundur	Duduk	Duduk	Tegak	Tegak	Tegak
10	Mundur	Kanan	Tegak	Tegak	Mundur	Mundur
11	Mundur	Kanan	Duduk	Tegak	Kanan	Tegak
12	Kanan	Kanan	Mundur	Tegak	Duduk	Mundur
13	Kanan	Tegak	Tegak	Mundur	Kanan	Tegak
14	Tegak	Kanan	Mundur	Mundur	Kanan	Tegak
15	Duduk	Kanan	Tegak	Tegak	Mundur	Duduk
16	Duduk	Duduk	Mundur	Tegak	Mundur	Mundur
17	Tegak	Maju	Mundur	Kanan	Maju	Tegak
18	Duduk	Tegak	Mundur	Kanan	Kanan	Tegak
19	Kanan	Duduk	Tegak	Mundur	Duduk	Duduk
20	Maju	Duduk	Mundur	Kanan	Mundur	Tegak
Total Keberhasilan	3	6	0	2	2	0
Persentase Keberhasilan	15%	30%	0%	10%	10%	0%

3. Pengujian Model Machine Learning Kondisi Hening dengan Jarak 10 – 20 cm.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan pembacaan dan klasifikasi dari model *machine learning* pada saat kondisi ruangan hening dan dengan jarak antara mulut pengguna dan *microphone webcam* kurang lebih 10 – 20 cm. Hasil dari pemrosesan model *machine learning* akan dibandingkan dengan kata perintah yang disebutkan oleh pengguna untuk kemudian diketahui seberapa besar keberhasilan model dalam melakukan klasifikasi suara perintah.

Tabel 5.3 Hasil Keberhasilan Klasifikasi Kondisi Hening dengan Jarak 10 – 20 cm

No	Maju	Kanan	Kiri	Duduk	Tegak	Joget
1	Maju	Kanan	Maju	Maju	Tegak	Tegak
2	Tegak	Kanan	Duduk	Duduk	Kanan	Mundur
3	Duduk	Kanan	Maju	Duduk	Tegak	Mundur
4	Maju	Kanan	Kanan	Duduk	Kanan	Tegak
5	Kanan	Kanan	Kanan	Duduk	Tegak	Tegak
6	Maju	Kanan	Maju	Duduk	Duduk	Tegak
7	Kanan	Kanan	Maju	Duduk	Duduk	Tegak
8	Kanan	Kanan	Maju	Duduk	Maju	Mundur
9	Kanan	Kanan	Duduk	Mundur	Tegak	Tegak
10	Kanan	Kanan	Maju	Duduk	Duduk	Tegak
11	Duduk	Kanan	Kanan	Duduk	Kanan	Mundur
12	Duduk	Kanan	Duduk	Maju	Maju	Tegak
13	Maju	Kanan	Tegak	Tegak	Duduk	Tegak
14	Maju	Mundur	Tegak	Mundur	Kanan	Mundur
15	Kanan	Kanan	Kanan	Mundur	Tegak	Mundur
16	Maju	Kanan	Duduk	Tegak	Duduk	Mundur
17	Kanan	Kanan	Maju	Tegak	Kanan	Mundur
18	Duduk	Kanan	Duduk	Maju	Maju	Mundur
19	Maju	Kanan	Kanan	Mundur	Duduk	Mundur
20	Tegak	Kanan	Kanan	Tegak	Mundur	Tegak
Total Keberhasilan	7	19	0	9	5	0
Persentase Keberhasilan	35%	95%	0%	45%	25%	0%

4. Pengujian Model Machine Learning Kondisi Hening dengan Jarak 30 – 40 cm.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan pembacaan dan klasifikasi dari model *machine learning* pada saat kondisi ruangan hening dan dengan jarak antara mulut pengguna dan *microphone webcam* kurang lebih 30 – 40 cm. Hasil dari pemrosesan model *machine learning* akan dibandingkan dengan kata perintah yang disebutkan oleh pengguna untuk kemudian diketahui seberapa besar keberhasilan model dalam melakukan klasifikasi suara perintah.

Tabel 5.4 Hasil Keberhasilan Klasifikasi Kondisi Hening dengan Jarak 30 – 40 cm

No	Maju	Kanan	Kiri	Duduk	Tegak	Joget
1	Kanan	Duduk	Kanan	Maju	Maju	Duduk
2	Maju	Kanan	Kanan	Kanan	Kanan	Maju
3	Duduk	Kanan	Mundur	Duduk	Kanan	Tegak
4	Maju	Mundur	Maju	Kanan	Kanan	Kanan
5	Kanan	Tegak	Duduk	Duduk	Kanan	Duduk
6	Maju	Kanan	Maju	Duduk	Maju	Duduk
7	Duduk	Tegak	Kanan	Duduk	Tegak	Kanan
8	Kanan	Mundur	Duduk	Maju	Mundur	Tegak
9	Mundur	Tegak	Maju	Maju	Tegak	Tegak
10	Duduk	Duduk	Kanan	Kanan	Maju	Tegak
11	Maju	Kanan	Maju	Duduk	Duduk	Kanan
12	Duduk	Maju	Tegak	Duduk	Mundur	Kanan
13	Duduk	Tegak	Tegak	Duduk	Tegak	Kanan
14	Maju	Kanan	Duduk	Kanan	Kanan	Tegak
15	Duduk	Duduk	Kanan	Maju	Tegak	Kanan
16	Duduk	Duduk	Duduk	Kanan	Mundur	Kanan
17	Maju	Maju	Duduk	Mundur	Kanan	Duduk
18	Duduk	Kanan	Kanan	Mundur	Kanan	Kanan
19	Kanan	Duduk	Mundur	Duduk	Tegak	Maju
20	Duduk	Kanan	Maju	Kanan	Mundur	Maju
Total Keberhasilan	6	7	0	8	5	0
Persentase Keberhasilan	30%	35%	0%	40%	25%	0%

```

10 dev_index = 2 # device index found by p.get_device_info_by_index(ii)
11 wav_output_filename = 'Test1.wav' # name of .wav file
12
13
14 audio = pyaudio.PyAudio() # create pyaudio instantiation
15
16 # create pyaudio stream
17 stream = audio.open(format = form_1, rate = samp_rate, channels = chans, \
18                    input_device_index = dev_index, input = True, \
19                    frames_per_buffer=chunk)
20 print("recording")
21 frames = []
22
23 # loop through stream and append audio chunks to frame array
24 for ii in range(0, int((samp_rate/chunk)*record_secs)):
25     data = stream.read(chunk, exception_on_overflow = False)
26     frames.append(data)
27 print("finished recording")
28
29 # stop the stream, close it, and terminate the pyaudio instantiation
30 stream.stop_stream()
31 stream.close()
32 audio.terminate()
33
34 # save the audio frames as .wav file
35 wavefile = wave.open(wav_output_filename, 'wb')
36 wavefile.setnchannels(chans)
37 wavefile.setsampwidth(audio.get_sample_size(form_1))
38 wavefile.setframerate(samp_rate)
39 wavefile.writeframes(b''.join(frames))
40 wavefile.close()
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

```

Gambar 5.1 Contoh hasil klasifikasi dari model *machine learning*

5.2.1.6. Analisis

Setelah melewati tahap implementasi serta pengujian dari subsistem *speech recognition* didapatkan beberapa data hasil percobaan yang telah disajikan dan dibagi menjadi empat tabel. Pembagian data menjadi empat tabel dilakukan karena percobaan dilakukan dengan empat kondisi yang berbeda baik dari segi jarak antara *microphone webcam* dengan mulut pengguna maupun kondisi ruangan. Tujuan dari melakukan percobaan dengan empat kondisi yang berbeda sendiri adalah agar diketahui kondisi terbaik dari penangkapan dan pemrosesan yang dilakukan oleh subsistem seperti apa dan apakah kondisi-kondisi lainnya memberikan efek terhadap keluaran dari subsistem *speech recognition* ini.

Sebelum melakukan pengujian, peralatan yang akan digunakan dalam pengujian terlebih dahulu disiapkan dimulai dari menghubungkan antara Raspberry Pi dengan *webcam* dan monitor serta mempersiapkan program perekaman dan pemrosesan suara. Ketika semua persiapan telah selesai dilakukan pengujian sudah bisa dilakukan dan data sudah bisa langsung diambil. Pengujian yang dilakukan akan mengambil sebanyak 20 kali pengulangan satu kelas kata pada setiap kondisi yang sebelumnya telah ditentukan. Kelas kata yang akan digunakan akan ada sebanyak enam kata dikarenakan pergerakan yang mampu dilakukan oleh robot adalah sebanyak enam pergerakan saja yaitu maju, kanan, kiri, duduk, tegak, dan joget. Namun, dalam implementasi subsistem ini, model *machine learning* yang telah dilatih sebelumnya dapat mengklasifikasikan 10 kelas kata yaitu maju, kanan, kiri, duduk, tegak, joget, mundur, tidur, angkat, dan cari. Penggunaan dari pelatihan 10 kelas kata tersebut dilakukan dengan tujuan untuk mempermudah pengembangan lebih lanjut dari robot ini apabila pergerakan lainnya sudah dapat dilakukan oleh robot tanpa harus mengulang pelatihan model kembali.

Pengujian diawali dengan menguji kemampuan model *machine learning* pada kondisi ruangan yang bising dengan jarak antara mulut pengguna dan *microphone webcam* kurang lebih 10 – 20 cm. Berdasarkan data yang telah dijabarkan pada Tabel 5.1, diketahui bahwa hasil dari perekaman serta pemrosesan yang dilakukan oleh subsistem masih kurang baik dimana pembacaan dari setiap kelas katanya masih dibawah 50% atau setengahnya dari 20 kali pengambilan data. Dilanjutkan dengan pengujian kedua dengan kondisi ruangan yang sama dengan pengujian sebelumnya tetapi dengan jarak antara *microphone webcam* dan mulut pengguna yang lebih jauh yaitu kurang lebih 30 – 40 cm. Hasil yang didapatkan kemudian disajikan dalam Tabel 5.2 dan didapatkan hasil yang sama dengan pengujian yang pertama

yaitu keberhasilan yang dilakukan perekaman serta pemrosesan masih dibawah 50%. Akan tetapi, jika kedua pengujian tersebut dibandingkan, diketahui bahwa nilai keberhasilan dengan kondisi *microphone webcam* lebih dekat dengan mulut pengguna akan lebih baik dibandingkan dengan yang lebih jauh walaupun masih memiliki tingkat keberhasilan dibawah dari 50%.

Dilanjutkan dengan pengujian ketiga dengan kondisi ruangan hening dan jarak antara mulut pengguna dengan *microphone webcam* sebesar kurang lebih 10 – 20 cm. Sama seperti pengujian-pengujian sebelumnya, data-data yang didapatkan dari pengujian kemudian disajikan dalam Tabel 5.3 untuk memperlihatkan keseluruhan keberhasilan dari pengujian yang dilakukan pada subsistem. Didapatkan hasil data yang jauh lebih baik dibandingkan dengan kedua pengujian sebelumnya dimana ada kelas kata yang berhasil mencapai tingkat keberhasilan diatas dari 50% dan bahkan mendekati 100%. Ada juga kelas kata yang hampir mencapai tingkat keberhasilan 50% pada pengujian ketiga ini. Meskipun begitu, masih terdapat banyak kelas kata yang masih belum mampu untuk melebihi tingkat keberhasilan sebesar 50% atau setengahnya. Masuk ke dalam pengujian terakhir yaitu pengujian subsistem dengan kondisi ruangan hening dan jarak antara mulut pengguna dan *microphone webcam* kurang lebih 30 – 40 cm. Data-data hasil pengujian kemudian ditampilkan pada Tabel 5.4 yang telah dibuat pada bagian hasil pengujian. Terlihat pada hasil data pengujian keempat ini bahwa tingkat keberhasilan yang dihasilkan oleh subsistem masih dibawah 50% dimana sama seperti pengujian-pengujian sebelumnya.

Dari keseluruhan empat pengujian yang dilakukan, dapat diketahui bahwa tingkat keberhasilan dari subsistem ini dipengaruhi juga dari kondisi ruangan dan jarak antara *webcam microphone* dengan mulut pengguna. Pengujian dengan tingkat keberhasilan yang paling tinggi adalah dengan kondisi ruangan yang hening dengan jarak *microphone webcam* dan mulut pengguna sekitar kurang lebih 10 – 20 cm. Lalu, untuk kondisi pengujian terburuk adalah dengan kondisi ruangan bising dan jarak antara *microphone webcam* dengan mulut pengguna kurang lebih 30 – 40 cm. Dengan begitu, diketahui bahwa kondisi ideal dari penggunaan subsistem ini adalah dengan kondisi ruangan hening dan jarak antara mulut pengguna dengan *microphone webcam* kurang lebih 10 – 20 cm dikarenakan tingkat keberhasilan yang jauh lebih tinggi dibandingkan kondisi-kondisi lainnya.

Setelah membandingkan dan mengetahui kondisi ideal operasional dari subsistem *speech recognition* ini, dilanjutkan dengan melakukan analisis terhadap kemampuan serta kondisi-kondisi yang mempengaruhi tingkat keberhasilan subsistem tersebut. Untuk

perbandingan antara kondisi bising dan hening memiliki perbedaan tingkat keberhasilan dimana untuk kondisi hening lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi bising. Hal ini bisa terjadi dikarenakan adanya beberapa suara *noise* yang masuk dan tertangkap oleh *microphone webcam* dan menyebabkan data yang didapatkan tidak sepenuhnya murni suara perintah saja tetapi terdapat suara seperti suara mesin, orang berbicara, dan sebagainya yang membuat hasil pemrosesan tidak sebagus dengan kondisi hening. Terlebih lagi *microphone* yang digunakan adalah *microphone webcam* yang mempunyai kualitas penangkapan yang bisa dibilang standar dan tidak memiliki *noise canceling*.

Selanjutnya, untuk perbandingan jarak *microphone webcam* dengan mulut pengguna, diketahui bahwa jarak lebih dekat memiliki tingkat keberhasilan yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang lebih jauh. Dari perbandingan ini dapat diketahui bahwa jika suara perintah diberikan dengan jarak yang cukup jauh maka suara yang direkam oleh *microphone webcam* akan terpengaruhi. Pengaruh yang dimaksudkan adalah kejelasan suara yang diberikan oleh pengguna dan diterima oleh *microphone webcam*. Ketika suara perintah yang diberikan dengan jarak yang cukup jauh, maka suara perintah juga akan tidak terlalu besar dan tidak terlalu baik ditangkap serta direkam oleh *microphone webcam*. Dengan melakukan analisis ini diketahui bahwa dua kemungkinan tersebut, yaitu kemurnian dan kejelasan suara perintah yang ditangkap mempengaruhi tingkat keberhasilan subsistem dalam melakukan tugasnya. Jika diperdalam lagi, hal ini sangat mempengaruhi program pemrosesan yang dilakukan oleh model *machine learning*.

Program pemrosesan yang dilakukan oleh model *machine learning* diawali dengan membaca dan mengambil data suara yang telah direkam oleh program perekaman menggunakan *microphone webcam*. Kemudian, data suara perintah tersebut diproses terlebih dahulu dengan membuat data suara tersebut menjadi data spektrum MFCC. Data spektrum MFCC tersebut kemudian dijabarkan menjadi satu kesatuan *array* data yang kemudian dijadikan sebagai masukan untuk diprediksi atau diklasifikasikan oleh model *machine learning* yang sebelumnya telah dilatih. Model *machine learning* yang telah dilatih memiliki pengetahuan untuk dapat membedakan data MFCC untuk setiap kelas katanya. Dengan diketahuinya kondisi seperti ini, maka suara yang ditangkap dan diberikan kepada model sangat menentukan hasil keluaran dari subsistem. Hal ini disebabkan karena *noise* atau kurang jelasnya suara perintah dapat mempengaruhi spektrum MFCC sehingga model mengklasifikasikan suara menjadi kelas kata yang tidak seharusnya. Diluar dari itu, terdapat

kemungkinan kualitas suara yang didapatkan oleh *microphone webcam* tidak terlalu bagus sehingga data MFCC yang didapatkan memiliki kemiripan satu sama lain dan membuat proses klasifikasi tidak sesuai serta mengurangi tingkat keberhasilan.

Selain dari pengaruh tingkat keberhasilan yang dikarenakan kondisi pengujian dan kemampuan dari *microphone webcam* dalam menangkap suara, terdapat kemungkinan pengaruh lainnya yaitu adalah *overfitting* pada model *machine learning* yang dibuat. Kondisi *overfitting* pada model sendiri terjadi dikarenakan sedikitnya *dataset* yang digunakan dalam pelatihan model *machine learning* selama tahap pengembangan model. Pada kondisi ini, model mempelajari detail dan *noise* yang ada pada *dataset* hingga pada titik dimana pembelajaran yang dilakukan oleh model memberikan efek negatif kepada performa model untuk data yang baru. Secara keseluruhan *dataset* yang digunakan dalam pelatihan model *machine learning* ini adalah sebanyak 4.470 data suara dengan untuk setiap kelas katanya terdapat 447 data suara saja. Jika dibandingkan dengan *dataset-dataset* yang biasanya digunakan oleh model *machine learning* lainnya dan biasanya sudah disiapkan oleh *library* tertentu, digunakan sebanyak minimal 10.000 data untuk melakukan pelatihan model *machine learning*. Dengan adanya kekurangan data serta *overfitting* pada model ini, dapat dikatakan bahwa ini mempengaruhi hasil pemrosesan yang dilakukan oleh subsistem *speech recognition* sehingga membuat tingkat keberhasilan menjadi rendah.

Setelah melakukan analisis secara keseluruhan, diketahui bahwa ada empat kemungkinan faktor yang menyebabkan rendahnya tingkat keberhasilan subsistem *speech recognition* dalam melakukan klasifikasi suara perintah. Keempat faktor tersebut adalah kemurnian suara yang ditangkap, kejelasan suara yang terekam, kualitas perekaman serta suara yang mampu ditangkap oleh *microphone webcam*, dan kurangnya data yang digunakan dalam melatih model sehingga terjadi *overfitting*. Dengan begitu, dapat diketahui bahwa data yang didapatkan pada pengujian subsistem ini masih terbilang wajar dikarenakan banyaknya faktor yang mempengaruhi proses kerja dari subsistem ini sehingga menurunkan tingkat keberhasilannya.

5.2.2. Pengujian Subsistem Kendali Servo Motor Robot

Subsistem selanjutnya yang dilakukan pengujian adalah subsistem kendali *servo motor* robot yang dilakukan oleh perangkat keras Arduino UNO sebagai pengendalinya. Pada subsistem kendali *servo motor* robot ini, perangkat keras Arduino UNO mendapatkan data masukan dari program pemrosesan suara perintah yang dilakukan oleh model *machine learning*. Data yang dikirimkan tersebut merupakan nilai *integer* dari indeks kelas kata hasil

pemrosesan model. Ketika data dikirimkan oleh program tersebut, Arduino UNO memproses masukan data tersebut dengan melakukan seleksi pemilihan pergerakan. Seleksi yang dilakukan oleh perangkat akan menggunakan program yang terdapat fungsi *switch case* di dalamnya. Dengan begitu, pergerakan akan terpilih mengikuti nilai *integer* dari indeks kelas kata sehingga pergerakan bisa sesuai dengan suara perintah yang diberikan pengguna.

5.2.2.1. Lingkup Pengujian

Terdapat beberapa objektif yang perlu dicapai dari subsistem kendali *servo motor* robot selama dilakukannya pengujian. Berikut adalah beberapa pengujian yang dilakukan pada subsistem tersebut.

1. Pengujian pergerakan *servo motor* robot terhadap data perintah
 - a. Menguji keberhasilan perangkat Arduino UNO dalam menyeleksi data masukan berupa nilai *integer* yang diterima secara langsung.
 - b. Menguji keberhasilan perangkat Arduino UNO dalam menggerakkan *servo motor* sesuai dengan data nilai *integer* yang telah diseleksi.

5.2.2.2. Konfigurasi Pengujian

Selama melakukan pengujian subsistem kendali *servo motor* robot, terdapat beberapa konfigurasi perangkat atau komponen yang digunakan untuk menunjang keberhasilan pengujian. Berikut adalah konfigurasi komponen pengujian yang digunakan.

1. Laptop dengan *software* Arduino IDE
2. Perangkat keras Arduino UNO beserta dengan kabel tipe B
3. Modul *logic level converter* 5 V to 3.3 V
4. Dua buah baterai li-ion 18650 3.7 V
5. Empat JST *connector* dengan 3 pin
6. Satu JST *connector* dengan 4 pin
7. Lima buah kabel *jumper*
8. Robot UBTECH Alpha 1S

5.2.2.3. Syarat Pengujian

Pada pengujian subsistem kendali *servo motor* robot yang dilakukan oleh peneliti, terdapat beberapa batasan tertentu yang digunakan agar pengujian yang dilakukan bisa lebih terarah dan sesuai dengan kapabilitas dari perangkat atau komponen yang digunakan. Berikut merupakan syarat-syarat pengujian dari subsistem yang dilakukan.

1. Pengujian kendali *servo motor* robot oleh perangkat Arduino UNO dilakukan secara *open loop*.

2. Pengujian dilakukan diatas meja dengan permukaan datar dan memiliki banyak ruang gerak untuk robot bergerak.
3. Meja yang digunakan memiliki permukaan yang tidak terlalu licin untuk menjaga keseimbangan robot dalam melakukan pergerakan
4. Pengujian dilakukan dengan menggunakan bantuan *serial monitor* pada *software* Arduino IDE untuk memberikan data nilai *integer* yang akan diseleksi.
5. Terdapat total 6 pergerakan yang mampu dilakukan oleh robot yaitu maju, kanan, kiri, duduk, tegak, dan joget.
6. Hasil dari pengujian akan berupa pergerakan *servo motor* robot yang dilakukan oleh program pada Arduino IDE dan dapat dilihat secara langsung.

5.2.2.4. Prosedur Pengujian dan Verifikasi

Pengujian subsistem kendali *servo motor* robot dilakukan dengan mengikuti prosedur-prosedur yang telah ditentukan oleh peneliti agar bisa didapatkan hasil yang sesuai dan dapat diverifikasikan kebenaran data hasil pengujian. Prosedur pengujian dibuat secara urut dimulai dari awal pengujian sampai akhir pengujian yang berupa pergerakan dari subsistem robot yang diuji. Berikut adalah serangkaian prosedur pengujian yang dilakukan oleh peneliti untuk menguji subsistem kendali *servo motor* robot.

1. Pengujian penyeleksian data nilai *integer* oleh Arduino UNO berdasarkan data yang diberikan secara langsung melalui *serial monitor* pada *software* Arduino IDE. Terdapat lima tahapan dalam pengujian ini, yaitu:
 - a. Pengujian dari percobaan subsistem ini dilakukan sebanyak masing-masing sekali setiap kelas katanya.
 - b. Terdapat total 6 kelas kata yang digunakan untuk pergerakan yaitu maju, kanan, kiri, joget, duduk, dan tegak.
 - c. Total data yang didapatkan dari percobaan pergerakan *servo motor* pada robot adalah 6 data.
 - d. Nilai *integer* akan diberikan oleh peneliti melalui *serial monitor* pada *software* Arduino IDE dan kemudian diseleksi oleh fungsi *switch case* yang ada pada program.
 - e. Hasil dari penyeleksian tersebut adalah *servo motor* yang ada pada robot akan bergerak sesuai dengan derajat-derajat yang telah ditentukan pada setiap *case* di fungsi *switch case* program.

Keberhasilan dari pengujian subsistem akan ditentukan berdasarkan parameter-parameter keberhasilan pengujian yang sebelumnya sudah ditetapkan agar dapat dilakukan verifikasi data. Berikut adalah parameter-parameter yang ditetapkan sebagai penentu keberhasilan pengujian subsistem.

1. Arduino UNO mampu menerima nilai *integer* yang diberikan oleh pengguna melalui *serial monitor*.
2. Program mampu melakukan seleksi nilai *integer* yang menjadi masukkan menggunakan fungsi *switch case*.
3. *Servo motor* robot mampu melakukan pergerakan sesuai dengan derajat-derajat yang ada pada setiap *case* sesuai dengan nilai *integer* yang diberikan.

5.2.2.5. Hasil Pengujian

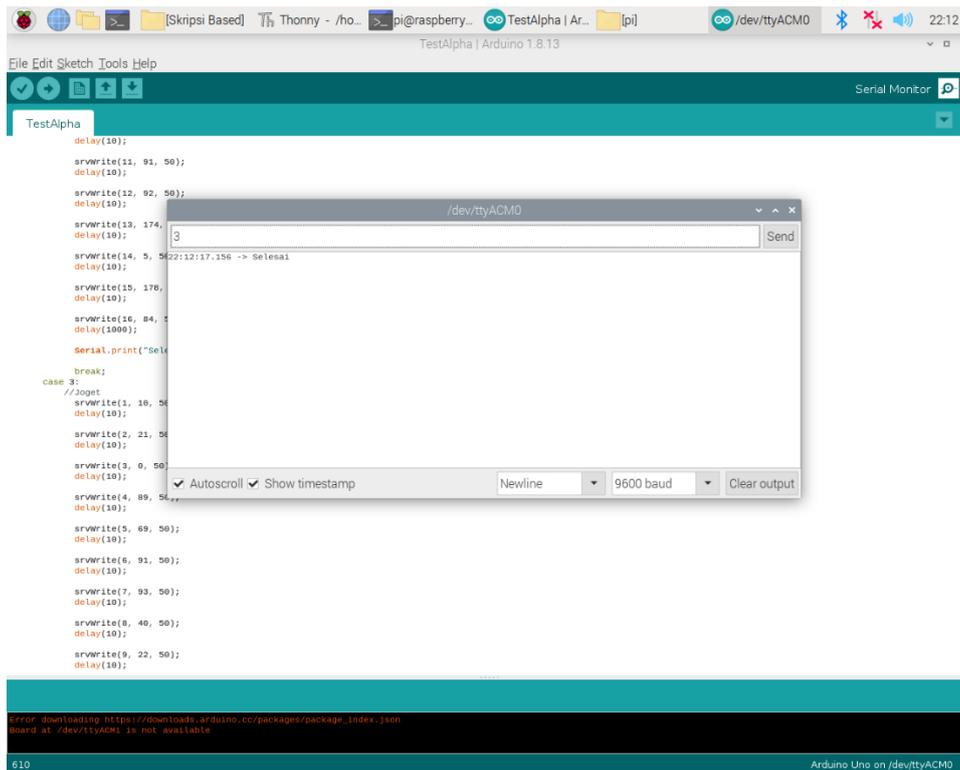
Setelah melakukan proses pengujian subsistem kendali *servo motor* robot dengan mengikuti prosedur-prosedur serta mengikut persyaratan pengujian, didapatkan hasil data pergerakan untuk dianalisis lebih lanjut. Hasil pengujian yang didapatkan berupa pergerakan *servo motor* robot yang dihasilkan oleh program pada perangkat Arduino UNO sebagai keluaran dari penyeleksian nilai *integer* yang diberikan oleh pengguna dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan perangkat Arduino UNO dalam melakukan penyeleksian secara langsung. Berikut adalah hasil dari pengujian program perangkat Arduino UNO.

1. Pengujian Penyeleksian Nilai Integer oleh Program Perangkat Arduino UNO.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan penyeleksian dari program perangkat Arduino UNO secara langsung agar dapat menggerakkan robot sesuai dengan nilai *integer* yang diberikan. Hasil dari pemrosesan model *machine learning* akan dibandingkan dengan kelas kata yang dituju oleh peneliti untuk kemudian diketahui apakah subsistem berhasil dan bisa melakukan penyeleksian data nilai *integer* dan menggerakkan *servo motor*.

Tabel 5.5 Hasil Keberhasilan Penyeleksian oleh Program Perangkat Arduino UNO

Pergerakan yang diinginkan (Nilai Integer)	Hasil Pergerakan Robot
Maju (1)	Benar
Kanan (2)	Benar
Kiri (3)	Benar
Duduk (4)	Benar
Tegak (5)	Benar
Joget (6)	Benar
Total Keberhasilan	6
Persentase Keberhasilan	100%



Gambar 5.2 Contoh hasil pengujian kendali *servo motor* robot

5.2.2.6. Analisis

Pada pengujian implementasi subsistem kendali *servo motor* robot dengan menggunakan perangkat keras Arduino UNO, secara keseluruhan pengujian didapatkan hasil data yang memuaskan. Hasil data yang didapatkan dari pengujian ini adalah pergerakan dari robot yang dilihat apakah sesuai dengan nilai *integer* yang diberikan oleh peneliti melalui *serial monitor* pada *software* Arduino IDE. Hasil data-data tersebut kemudian dimasukkan ke dalam tabel dengan tujuan untuk memperlihatkan kebenaran robot dalam melakukan pergerakannya. Pengujian dilakukan sebanyak enam kali dengan pengujian setiap kelas kata atau *case* adalah masing-masing sekali. Seperti yang telah disajikan pada tabel kebenaran (Tabel 5) dibagian hasil pengujian, terlihat bahwa keseluruhan dari pergerakan berhasil dilakukan oleh robot sesuai dengan nilai *integer* yang diberikan oleh peneliti.

Secara keseluruhan alur pengujian, perangkat keras Arduino UNO yang terhubung dengan laptop dan *servo motor* robot melalui *main board* yang telah dibuat akan menunggu *input* masukan data yang merupakan nilai *integer*. Nilai *integer* tersebut dapat diberikan secara langsung oleh peneliti dengan menggunakan bantuan *serial monitor* pada *software* Arduino IDE. Fungsi dari nilai *integer* tersebut adalah sebagai perintah yang nantinya diseleksi oleh

program untuk melakukan pergerakan tertentu. Penyeleksian yang dilakukan oleh program dibantu dengan menggunakan fungsi *switch case* yang memiliki sebanyak tujuh *case* di dalamnya. Ketujuh *case* tersebut terbagi menjadi enam pergerakan seperti maju, kanan, kiri, duduk, tegak, dan joget. Untuk *case* terakhirnya adalah *default case* yang memiliki fungsi apabila nilai *integer* yang dimasukan oleh peneliti tidak sesuai dengan nilai yang ada pada *case* pergerakan, maka akan masuk ke dalam *default case* dan robot akan tidak melakukan apapun.

Dengan data yang telah didapat dan dijabarkan pada tabel, hasil pengujian kemudian dapat diverifikasi keberhasilannya dengan membandingkan hasil tersebut terhadap parameter verifikasi yang sebelumnya telah ditetapkan. Dimulai dari memasukan data nilai *integer* untuk perangkat sampai dengan *servo motor* robot dapat melakukan pergerakan sesuai dengan nilai *integer* yang diberikan, semua berhasil dilakukan oleh subsistem kendali *servo motor* robot ini. Dengan begitu, berdasarkan parameter-parameter verifikasi tersebut, pengujian dapat dikatakan berhasil karena telah memenuhi parameter-parameter tersebut tanpa terkecuali.

5.2.3. Pengujian Sistem Keseluruhan

Setelah masing-masing subsistem telah selesai diuji coba, dilanjutkan dengan percobaan keseluruhan produk Voice Interactive Learning Robot yang merupakan gabungan dari kedua subsistem yang sebelumnya telah diuji. Masing-masing dari subsistem memiliki fungsi dan peran tersendiri agar dapat menunjang keberhasilan berjalannya produk Voice Interactive Learning Robot. Subsistem yang pertama adalah subsistem *speech recognition* yang memiliki peran sebagai subsistem yang menerima, menyimpan, dan memproses data suara perintah yang diberikan oleh pengguna. Kemudian, terdapat subsistem kendali *servo motor* robot yang memiliki peran sebagai penerima data hasil pemrosesan oleh model berupa nilai *integer* yang kemudian diseleksi untuk menggerakkan *servo motor* pada robot sesuai dengan data tersebut. Tahap pengujian sistem keseluruhan ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah masing-masing subsistem dapat bekerja secara bersamaan ketika sudah diintegrasikan menjadi satu kesatuan.

5.2.3.1. Lingkup Pengujian

Terdapat beberapa objektif yang perlu dicapai dari keseluruhan subsistem produk Voice Interactive Learning Robot selama dilakukannya pengujian. Berikut adalah beberapa pengujian yang dilakukan pada subsistem tersebut.

1. Pengujian pergerakan robot berdasarkan perintah masukan yang telah diproses oleh model *machine learning*.

- a. Menguji keberhasilan perangkat Raspberry Pi dalam berkomunikasi untuk memberikan data nilai *integer* kepada perangkat keras Arduino UNO.
- b. Menguji keberhasilan perangkat Arduino UNO dalam berkomunikasi untuk memberikan data kondisi bahwa pergerakan dari robot sudah selesai dilakukan dan siap untuk menerima perintah selanjutnya.
- c. Menguji keberhasilan keseluruhan sistem untuk menggerakkan robot.

5.2.3.2. Konfigurasi Pengujian

Selama melakukan pengujian keseluruhan subsistem produk Voice Interactive Learning Robot, terdapat beberapa konfigurasi perangkat atau komponen yang digunakan untuk menunjang keberhasilan pengujian. Berikut adalah konfigurasi komponen pengujian yang digunakan.

1. Raspberry Pi 4 dengan *software* Thonny IDE
2. Raspberry Pi 4 dengan *library* Tensorflow 2.8.0
3. Raspberry Pi 4 dengan *library* Librosa
4. Raspberry Pi 4 dengan *library* Pyaudio
5. Raspberry Pi 4 dengan *library* Numpy
6. Webcam Logitech C270
7. Perangkat keras Arduino UNO beserta dengan kabel tipe B
8. Modul *logic level converter* 5 V to 3.3 V
9. Dua buah baterai li-ion 18650 3.7 V
10. Empat JST *connector* dengan 3 pin
11. Satu JST *connector* dengan 4 pin
12. Lima buah kabel *jumper*
13. Robot UBTECH Alpha 1S
14. Kabel HDMI (Untuk *monitoring*)
15. Monitor dengan *port* HDMI (Untuk *monitoring*)
16. Kabel *converter* VGA to HDMI (Untuk *monitoring*) (Digunakan apabila monitor hanya memiliki *port* VGA)

5.2.3.3. Syarat Pengujian

Pada pengujian keseluruhan subsistem produk Voice Interactive Learning Robot yang dilakukan oleh peneliti, terdapat beberapa batasan tertentu yang digunakan agar pengujian yang dilakukan bisa lebih terarah dan sesuai dengan kapabilitas dari perangkat atau komponen yang digunakan. Berikut merupakan syarat-syarat pengujian dari subsistem yang dilakukan.

1. Pengujian keseluruhan produk Voice Interactive Learning Robot dilakukan secara *closed loop*.
2. Pengujian dilakukan diatas meja dengan permukaan datar dan memiliki banyak ruang gerak untuk robot bergerak.
3. Meja yang digunakan memiliki permukaan yang tidak terlalu licin untuk menjaga keseimbangan robot dalam melakukan pergerakan
4. Terdapat total 6 pergerakan yang mampu dilakukan oleh robot yaitu maju, kanan, kiri, duduk, tegak, dan joget.
5. Terdapat total 7 kelas kata yang mampu diklasifikasikan oleh robot yaitu maju, kanan, kiri, duduk, tegak, joget, dan mundur.
6. Terdapat tambahan satu kata yang dapat diklasifikasikan tetapi tidak digunakan dalam pergerakan robot yaitu kata mundur.
7. Keseluruhan perangkat maupun komponen yang digunakan sudah terpasang dengan baik satu sama lain.
8. Memastikan baterai yang digunakan oleh robot telah terisi penuh untuk dapat menyalakan atau mengaktifkan robot.
9. Hasil dari pengujian akan berupa pergerakan *servo motor* robot yang dilakukan oleh produk berdasarkan perintah suara yang diberikan melalui *microphone webcam* secara langsung.

5.2.3.4. Prosedur Pengujian dan Verifikasi

Pengujian keseluruhan subsistem produk Voice Interactive Learning Robot dilakukan dengan mengikuti prosedur-prosedur yang telah ditentukan oleh peneliti agar bisa didapatkan hasil yang sesuai dan dapat diverifikasikan kebenaran data hasil pengujian. Prosedur pengujian dibuat secara urut dimulai dari awal pengujian sampai akhir pengujian yang berupa pergerakan dari robot yang diuji. Berikut adalah serangkaian prosedur pengujian yang dilakukan oleh peneliti untuk menguji keseluruhan subsistem produk Voice Interactive Learning Robot.

1. Pengujian pergerakan *servo motor* robot dengan menggunakan data masukan berasal hasil pemrosesan oleh model *machine learning*. Terdapat lima tahapan dalam pengujian ini, yaitu:
 - a. Pengujian atau pengambilan data dari percobaan sistem keseluruhan ini dilakukan sebanyak 20 kali per kelas kata dengan empat kondisi yang berbeda.

- b. Terdapat total 7 kelas kata yang digunakan, yaitu maju, kanan, kiri, joget, duduk, tegak, dan mundur.
- c. Untuk pergerakan yang dilakukan akan hanya ada 6 pergerakan saja dimana untuk kelas kata mundur tidak dipakai dalam pergerakan robot.
- d. Total data yang didapatkan dari empat kali percobaan dengan kondisi yang berbeda adalah 480 data dengan data per kondisi sebanyak 120 data.
- e. Suara perintah akan direkam oleh *microphone webcam* selama 2 detik dan kemudian akan disimpan pada folder tertentu.
- f. Model *machine learning* akan mengambil suara perintah yang telah disimpan pada folder tertentu kemudian melakukan proses klasifikasi atau pemrosesan suara.
- g. Hasil dari klasifikasi tersebut adalah program akan menyimpan nilai indeks berupa *integer* dari kelas kata yang didapatkan dari hasil pemrosesan untuk dikirimkan ke subsistem kendali *servo motor* robot dan melakukan penulisan kelas kata tersebut pada *shell* untuk mengetahui hasil klasifikasi.
- h. Nilai *integer* yang dikirimkan ke subsistem kendali *servo motor* akan diterima oleh perangkat Arduino UNO dan diseleksi menggunakan fungsi *switch case* yang ada pada program.
- i. *Servo motor* robot akan bergerak sesuai dengan *case* yang telah diseleksi oleh fungsi dan kemudian akan memberikan data kepada program subsistem *speech recognition* untuk melakukan perekaman serta pemrosesan suara perintah kembali.

Keberhasilan dari pengujian subsistem akan ditentukan berdasarkan parameter-parameter keberhasilan pengujian yang sebelumnya sudah ditetapkan agar dapat dilakukan verifikasi data. Berikut adalah parameter-parameter yang ditetapkan sebagai penentu keberhasilan pengujian subsistem.

1. *Microphone webcam* mampu menerima suara perintah yang diberikan oleh pengguna.
2. Program perekam suara yang dibuat mampu melakukan perekaman selama 2 detik dan kemudian menyimpannya dalam folder yang telah ditentukan.
3. Program pemrosesan suara perintah mampu menggunakan data suara perintah yang tersimpan pada folder untuk digunakan oleh model *machine learning*.

4. Model *machine learning* mampu melakukan klasifikasi suara perintah sesuai dengan perintah yang diberikan setidaknya 75% dari 20 kali pengambilan data per kelas kata.
5. Arduino UNO mampu menerima nilai *integer* yang diberikan oleh subsistem *speech recognition*.
6. Program mampu melakukan seleksi nilai *integer* yang menjadi masukan menggunakan fungsi *switch case*.
7. *Servo motor* robot mampu melakukan pergerakan sesuai dengan derajat-derajat yang ada pada setiap *case* sesuai dengan nilai *integer* yang diberikan.
8. Arduino UNO mampu memberikan data untuk perangkat Raspberry Pi sehingga dapat melakukan perekaman dan pemrosesan suara kembali.

5.2.3.5. Hasil Pengujian

Setelah melakukan proses pengujian sistem keseluruhan dari produk Voice Interactive Learning Robot dengan mengikuti prosedur-prosedur serta mengikut persyaratan pengujian, didapatkan beberapa hasil data pengujian untuk dianalisis lebih lanjut. Hasil pengujian yang didapatkan berupa pergerakan robot yang telah melalui proses subsistem *speech recognition* dan kendali *servo motor* robot dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan robot untuk menerima dan memproses suara perintah serta menggerakkan *servo motor* robot secara langsung. Berikut adalah hasil dari pengujian sistem keseluruhan produk Voice Interactive Learning Robot dengan empat kondisi yang berbeda.

1. Pengujian Sistem Keseluruhan Kondisi Bising dengan Jarak 10 – 20 cm.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem keseluruhan dimulai dari subsistem *speech recognition* yang merekam serta memproses suara perintah dan subsistem kendali *servo motor* robot yang menggerakkan *servo motor* sesuai dengan data yang diterima dari hasil pemrosesan model *machine learning*. Pengujian pertama dilakukan pada saat kondisi ruangan bising dan dengan jarak antara mulut pengguna dan *microphone webcam* kurang lebih 10 – 20 cm. Hasil dari pengujian sistem keseluruhan akan membandingkan kata perintah yang disebutkan oleh pengguna dengan pergerakan yang dilakukan oleh robot untuk kemudian diketahui seberapa besar keberhasilan keseluruhan sistem dalam melakukan klasifikasi suara perintah serta melakukan pergerakan.

Tabel 5.6 Hasil Keberhasilan Sistem Keseluruhan Kondisi Bising dengan Jarak 10 – 20 cm

No	Maju	Kanan	Kiri	Duduk	Tegak	Joget
1	Maju	Kanan	Tegak	Duduk	Duduk	Kanan
2	Duduk	Duduk	Maju	Maju	Duduk	Duduk
3	Duduk	Duduk	Kanan	Tegak	Duduk	Duduk
4	Kanan	Maju	Duduk	Tegak	Kanan	Maju
5	Duduk	Duduk	Kanan	Duduk	Tegak	Tegak
6	Maju	Tegak	Duduk	Duduk	Kanan	Maju
7	Kanan	Kanan	Mundur	Duduk	Mundur	Duduk
8	Tegak	Duduk	Tegak	Kanan	Tegak	Duduk
9	Duduk	Maju	Kanan	Tegak	Tegak	Mundur
10	Duduk	Duduk	Tegak	Tegak	Tegak	Tegak
11	Tegak	Kanan	Duduk	Mundur	Duduk	Kanan
12	Duduk	Tegak	Tegak	Tegak	Duduk	Tegak
13	Maju	Kanan	Maju	Duduk	Kanan	Kanan
14	Kanan	Kanan	Kanan	Duduk	Maju	Kanan
15	Mundur	Duduk	Duduk	Kanan	Mundur	Tegak
16	Duduk	Duduk	Duduk	Tegak	Duduk	Mundur
17	Kanan	Duduk	Maju	Mundur	Duduk	Kanan
18	Duduk	Tegak	Tegak	Duduk	Kanan	Duduk
19	Mundur	Tegak	Kanan	Maju	Kanan	Tegak
20	Duduk	Mundur	Duduk	Kanan	Duduk	Maju
Total Keberhasilan	3	5	0	7	4	0
Persentase Keberhasilan	15%	25%	0%	35%	20%	0%

2. Pengujian Sistem Keseluruhan Kondisi Bising dengan Jarak 30 – 40 cm

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem keseluruhan dimulai dari subsistem *speech recognition* yang merekam serta memproses suara perintah dan subsistem kendali *servo motor* robot yang menggerakkan *servo motor* sesuai dengan data yang diterima dari hasil pemrosesan model *machine learning*. Pengujian pertama dilakukan pada saat kondisi ruangan bising dan dengan jarak antara mulut pengguna dan *microphone webcam* kurang lebih 30 – 40 cm. Hasil dari pengujian sistem keseluruhan akan membandingkan kata perintah yang disebutkan oleh pengguna dengan pergerakan yang dilakukan oleh robot untuk kemudian diketahui seberapa besar keberhasilan keseluruhan sistem dalam melakukan klasifikasi suara perintah serta melakukan pergerakan.

Tabel 5.7 Hasil Keberhasilan Sistem Keseluruhan Kondisi Bising dengan Jarak 30 – 40 cm

No	Maju	Kanan	Kiri	Duduk	Tegak	Joget
1	Tegak	Duduk	Mundur	Duduk	Mundur	Kanan
2	Duduk	Maju	Maju	Mundur	Tegak	Tegak
3	Kanan	Duduk	Kanan	Kanan	Duduk	Maju
4	Tegak	Maju	Tegak	Maju	Duduk	Duduk
5	Duduk	Kanan	Duduk	Tegak	Kanan	Duduk
6	Maju	Mundur	Maju	Duduk	Duduk	Kanan
7	Mundur	Tegak	Mundur	Kanan	Mundur	Mundur
8	Kanan	Mundur	Kanan	Tegak	Duduk	Kanan
9	Kanan	Kanan	Maju	Maju	Kanan	Tegak
10	Duduk	Duduk	Tegak	Tegak	Mundur	Duduk
11	Maju	Duduk	Duduk	Maju	Duduk	Tegak
12	Duduk	Kanan	Tegak	Kanan	Maju	Maju
13	Maju	Mundur	Mundur	Tegak	Duduk	Tegak
14	Duduk	Maju	Duduk	Mundur	Duduk	Mundur
15	Maju	Kanan	Tegak	Duduk	Tegak	Kanan
16	Duduk	Tegak	Mundur	Tegak	Maju	Kanan
17	Mundur	Duduk	Maju	Mundur	Tegak	Maju
18	Kanan	Mundur	Kanan	Tegak	Duduk	Duduk
19	Tegak	Duduk	Tegak	Duduk	Kanan	Mundur
20	Duduk	Mundur	Duduk	Duduk	Mundur	Duduk
Total Keberhasilan	4	4	0	5	3	0
Persentase Keberhasilan	20%	20%	0%	25%	15%	0%

3. Pengujian Sistem Keseluruhan Kondisi Hening dengan Jarak 10 – 20 cm.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem keseluruhan dimulai dari subsistem *speech recognition* yang merekam serta memproses suara perintah dan subsistem kendali *servo motor* robot yang menggerakkan *servo motor* sesuai dengan data yang diterima dari hasil pemrosesan model *machine learning*. Pengujian pertama dilakukan pada saat kondisi ruangan hening dan dengan jarak antara mulut pengguna dan *microphone webcam* kurang lebih 10 – 20 cm. Hasil dari pengujian sistem keseluruhan akan membandingkan kata perintah yang disebutkan oleh pengguna dengan pergerakan yang dilakukan oleh robot untuk kemudian diketahui seberapa besar keberhasilan keseluruhan sistem dalam melakukan klasifikasi suara perintah serta melakukan pergerakan.

Tabel 5.8 Hasil Keberhasilan Sistem Keseluruhan Kondisi Hening dengan Jarak 10 – 20 cm

No	Maju	Kanan	Kiri	Duduk	Tegak	Joget
1	Kanan	Kanan	Duduk	Duduk	Tegak	Tegak
2	Mundur	Kanan	Maju	Tegak	Kanan	Mundur
3	Maju	Duduk	Tegak	Duduk	Kanan	Mundur
4	Kanan	Duduk	Tegak	Duduk	Duduk	Tegak
5	Kanan	Kanan	Maju	Duduk	Duduk	Tegak
6	Maju	Kanan	Tegak	Tegak	Duduk	Tegak
7	Duduk	Tegak	Maju	Duduk	Tegak	Mundur
8	Duduk	Kanan	Kanan	Duduk	Kanan	Mundur
9	Mundur	Kanan	Duduk	Tegak	Maju	Mundur
10	Maju	Duduk	Tegak	Mundur	Kanan	Mundur
11	Kanan	Kanan	Maju	Duduk	Maju	Mundur
12	Tegak	Kanan	Kanan	Tegak	Mundur	Tegak
13	Duduk	Kanan	Mundur	Maju	Maju	Tegak
14	Tegak	Mundur	Kanan	Maju	Duduk	Mundur
15	Kanan	Kanan	Duduk	Tegak	Duduk	Mundur
16	Kanan	Tegak	Kanan	Mundur	Tegak	Mundur
17	Maju	Kanan	Maju	Tegak	Tegak	Tegak
18	Maju	Kanan	Maju	Duduk	Duduk	Tegak
19	Kanan	Maju	Kanan	Duduk	Tegak	Tegak
20	Maju	Kanan	Duduk	Duduk	Kanan	Tegak
Total Keberhasilan	6	13	0	10	5	0
Persentase Keberhasilan	30%	65%	0%	50%	25%	0%

4. Pengujian Sistem Keseluruhan Kondisi Hening dengan Jarak 30 – 40 cm.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem keseluruhan dimulai dari subsistem *speech recognition* yang merekam serta memproses suara perintah dan subsistem kendali *servo motor* robot yang menggerakkan *servo motor* sesuai dengan data yang diterima dari hasil pemrosesan model *machine learning*. Pengujian pertama dilakukan pada saat kondisi ruangan hening dan dengan jarak antara mulut pengguna dan *microphone webcam* kurang lebih 30 – 40 cm. Hasil dari pengujian sistem keseluruhan akan membandingkan kata perintah yang disebutkan oleh pengguna dengan pergerakan yang dilakukan oleh robot untuk kemudian diketahui seberapa besar keberhasilan keseluruhan sistem dalam melakukan klasifikasi suara perintah serta melakukan pergerakan.

Tabel 5.9 Hasil Keberhasilan Sistem Keseluruhan Kondisi Hening dengan Jarak 30 – 40 cm

No	Maju	Kanan	Kiri	Duduk	Tegak	Joget
1	Kanan	Tegak	Kanan	Duduk	Maju	Duduk
2	Maju	Mundur	Maju	Maju	Kanan	Kanan
3	Duduk	Kanan	Kanan	Mundur	Tegak	Mundur
4	Maju	Kanan	Duduk	Kanan	Duduk	Kanan
5	Kanan	Mundur	Duduk	Tegak	Mundur	Tegak
6	Tegak	Tegak	Duduk	Duduk	Tegak	Kanan
7	Duduk	Tegak	Kanan	Kanan	Tegak	Kanan
8	Mundur	Tegak	Maju	Maju	Tegak	Tegak
9	Maju	Maju	Duduk	Mundur	Kanan	Duduk
10	Duduk	Duduk	Kanan	Maju	Tegak	Kanan
11	Maju	Kanan	Maju	Duduk	Duduk	Kanan
12	Kanan	Kanan	Tegak	Duduk	Mundur	Kanan
13	Maju	Kanan	Maju	Duduk	Maju	Mundur
14	Kanan	Duduk	Duduk	Duduk	Kanan	Duduk
15	Maju	Kanan	Kanan	Kanan	Duduk	Duduk
16	Duduk	Kanan	Tegak	Duduk	Duduk	Tegak
17	Maju	Kanan	Kanan	Kanan	Kanan	Maju
18	Kanan	Tegak	Mundur	Tegak	Tegak	Kanan
19	Mundur	Duduk	Kanan	Kanan	Maju	Tegak
20	Tegak	Kanan	Maju	Kanan	Mundur	Maju
Total Keberhasilan	7	9	0	7	6	0
Persentase Keberhasilan	35%	45%	0%	35%	30%	0%

5.2.3.6. Analisis

Pada pengujian sistem keseluruhan yang tergabung dari dua subsistem yaitu subsistem *speech recognition* dan subsisten kendali *servo motor* robot, didapatkan total 480 data hasil pergerakan robot berdasarkan suara perintah yang diberikan oleh peneliti. Sama seperti percobaan pada subsistem *speech recognition*, pengujian yang dilakukan pada keseluruhan subsistem ini akan menggunakan empat kondisi yang berbeda untuk membandingkan hasilnya satu sama lain. Pengujian dilakukan hampir sama dengan pengujian subsistem *speech recognition* dimana peneliti akan memberikan suara perintah sebanyak 20 kali untuk setiap kelas katanya dan suara tersebut akan diproses oleh model *machine learning* yang ada pada perangkat Raspberry Pi. Namun, terdapat pada perbedaan data yang akan dipantau dan diambil sebagai hasil pengujian. Jika pada subsistem *speech recognition* hasil data yang diambil adalah hasil pemrosesan, pada pengujian sistem keseluruhan ini yang menjadi hasil data pengujiannya adalah pergerakan dari robot itu sendiri. Hal ini dilakukan karena pada tahap ini, sistem sudah diintegrasikan menjadi satu kesatuan dan bukan masing-masing subsistem lagi. Dengan begitu, subsistem *speech recognition* memiliki peran untuk melakukan pemrosesan dan subsistem

kendali *servo motor* robot memiliki peran untuk menggerakkan *servo motor* robot sesuai dengan data yang diterima dari subsistem sebelumnya.

Pengujian tentunya dimulai dari melakukan perakitan dan persiapan keseluruhan perangkat yang akan diuji dimulai dari menghubungkan Raspberry Pi dengan *webcam* dan Arduino UNO sampai menghubungkan Arduino UNO dengan *main board* dan *servo motor* robot. Diluar dari penggabungan keseluruhan subsistem tersebut, dihubungkan juga Raspberry Pi dengan monitor agar dapat dilakukan *monitoring* terhadap keluaran dari model dalam melakukan klasifikasi suara perintah. Tujuan dari melakukan *monitoring* tersebut adalah untuk menyamakan apakah keluaran dari model tersebut sama dengan pergerakan yang dilakukan oleh robot atau tidak. Setelah semua persiapan telah selesai, pengujian dilakukan dimulai dengan kondisi yang pertama yaitu kondisi ruangan bising dan jarak antara *microphone webcam* dengan mulut pengguna sekitar 10 – 20 cm. Hasil dari pengujian ini kemudian disajikan pada Tabel 5.6 yang memperlihatkan perbandingan antara pergerakan yang dilakukan robot dengan suara perintah yang menjadi masukan. Terlihat bahwa tingkat keberhasilan dari keseluruhan sistem ini masih dibawah 50% dimana pergerakan yang dilakukan oleh robot masih belum sesuai dengan suara perintah yang diberikan oleh peneliti.

Kemudian dilanjutkan dengan percobaan dengan kondisi kedua yaitu dengan kondisi ruangan bising dan jarak antara *microphone webcam* dengan mulut pengguna sekitar 30 – 40 cm. Hasil data yang didapatkan pada pengujian kondisi ini ditampilkan pada Tabel 5.7 dimana terlihat bahwa hasil yang didapatkan memiliki tingkat keberhasilan yang masih dibawah 50% dan dibawah dari pengujian pertama. Lalu, dilanjutkan dengan pengujian ketiga yaitu dengan kondisi ruangan hening dan jarak antara mulut pengguna dengan *microphone webcam* sekitar 10 – 20 cm. Sama seperti pengujian-pengujian sebelumnya, hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.8 yang menampilkan keseluruhan hasil pengujian sistem keseluruhan. Pada tabel tersebut terlihat bahwa tingkat keberhasilan yang didapatkan jauh lebih baik dari dua pengujian sebelumnya. Pada pengujian ini didapatkan nilai tingkat keberhasilan diatas 65% dan pas pada nilai 50%. Walaupun begitu, masih terdapat beberapa kelas kata yang masih belum berhasil mencapai tingkat keberhasilan pas atau diatas 50%. Setelah pengujian ketiga selesai dilakukan, dilanjutkan dengan pengujian terakhir yaitu dengan kondisi ruangan hening dan jarak antara mulut pengguna dengan *microphone webcam* sekitar 30 – 40 cm. Hasil keseluruhan dari percobaan ini kemudian ditampilkan pada Tabel 5.9 yang menunjukkan pergerakan yang dilakukan serta tingkat keberhasilan dari pengujian. Pada hasil pengujian keempat ini,

didapatkan nilai tingkat keberhasilan yang masih dibawah 50% untuk setiap kelas katanya dan hanya ada yang mendekati dengan nilai 45%. Secara keseluruhan, pada percobaan keempat ini masih memiliki tingkat keberhasilan dibawah dari pengujian ketiga dengan kondisi ruangan hening dan jarak antara mulut pengguna dengan *microphone webcam* lebih dekat.

Apabila pengujian sistem keseluruhan ini dibandingkan dengan hasil pengujian subsistem *speech recognition*, maka akan terlihat bahwa kedua pengujian memiliki hasil yang kurang lebih sama. Dapat dikatakan seperti itu dikarenakan pada pengujian sistem keseluruhan ini memiliki tingkat keberhasilan yang paling tinggi pada kondisi ketiga yaitu kondisi ruangan hening dan jarak antara mulut pengguna dengan *microphone webcam* sekitar 10 – 20 cm. Dengan diketahuinya kondisi ketiga ini adalah kondisi yang terbaik, maka ini memperkuat analisis pada subsistem *speech recognition* bahwa kondisi ketiga merupakan kondisi ideal dari operasional produk Voice Interactive Learning Robot karena memiliki tingkat keberhasilan yang tinggi jika dibandingkan dengan kondisi lainnya. Tidak hanya itu, hasil pengujian ini juga memperkuat analisis sebelumnya yang menyebutkan bahwa kemurnian serta kejelasan suara perintah yang diterima dan direkam menjadi faktor-faktor penentu tingkat keberhasilan dari sistem keseluruhan. Sama seperti dengan analisis pada subsistem *speech recognition*, tingkat keberhasilan yang rendah dari pengujian sistem keseluruhan ini didasari tidak hanya oleh kedua faktor kemurnian dan kejelasan saja, tetapi terdapat faktor kualitas *microphone webcam* dan banyaknya data yang digunakan dalam pelatihan model. Oleh karena itu, hasil pengujian yang didapatkan kurang lebih sama antara subsistem *speech recognition* dengan sistem keseluruhan yang dilakukan.

Selanjutnya, pembahasan akan masuk kepada analisis pergerakan dari *servo motor* robot yang dilakukan oleh perangkat keras Arduino UNO. Pada pembahasan hasil pengujian subsistem kendali *servo motor* robot, diketahui bahwa pergerakan dari robot secara keseluruhan sesuai dengan nilai *integer* yang diberikan oleh peneliti melalui *serial monitor* yang ada pada *software* Arduino IDE. Hal tersebut membuktikan bahwa program yang diimplementasikan pada perangkat keras Arduino IDE dapat melakukan penyeleksian nilai *integer* yang diberikan dengan menggunakan fungsi *switch case* di dalamnya. Begitu juga yang terjadi pada pengujian sistem keseluruhan ini. Pada pengujian sistem keseluruhan ini, Arduino UNO mampu menggerakkan *servo motor* robot sesuai dengan data yang diberikan. Akan tetapi, data yang diberikan tidak lagi berasarkan dari nilai *integer* yang diberikan secara manual oleh peneliti, melainkan data nilai *integer* didapatkan dari hasil pemrosesan yang dilakukan pada

subsistem *speech recognition*. Subsistem *speech recognition* tidak hanya melakukan penulisan hasil klasifikasi dari model *machine learning* saja, tetapi juga menyimpan data berupa nilai *integer* dari indeks kelas yang terpilih oleh model. Data nilai *integer* tersebut kemudian dikirimkan oleh program untuk masuk ke Arduino UNO secara *serial*. Nilai tersebut kemudian dibaca oleh Arduino UNO untuk kemudian diseleksi dengan fungsi *switch case* yang telah disesuaikan. Ketika sudah selesai melakukan pergerakan, Arduino UNO akan memberikan status pergerakan selesai dilakukan kepada program perekaman suara. Dengan begitu, terjadi perputaran data secara kontinu dimana *microphone webcam* akan merekam dan diproses oleh model sehingga didapatkan data nilai *integer* untuk melakukan pergerakan *servo motor* robot. Selesai dari melakukan pergerakan, status selesai dikirimkan oleh Arduino UNO kepada program perekam untuk mengulang proses kembali dari awal kembali. Secara keseluruhan, untuk subsistem kendali *servo motor* robot ini berhasil dilakukan tanpa adanya kendala meskipun pergerakannya tidak sesuai yang dikarenakan tingkat keberhasilan dari subsistem *speech recognition* yang masih kurang bagus.



Kesimpulan dan Saran Pengembangan Produk

5.2.4. Kesimpulan Hasil Pengembangan Produk

Produk Voice Interactive Learning Robot sendiri dibuat dan dikembangkan dengan tujuan untuk membantu anak berusia dini untuk belajar dalam mengembangkan kemampuan berbicara Bahasa Indonesia dengan baik. Robot pembelajaran yang dikembangkan memiliki kemampuan untuk bergerak sehingga dapat membuat pembelajaran yang lebih interaktif. Pergerakan yang dilakukan robot sendiri beraskan dari suara perintah berupa kata-kata yang dapat disebutkan dan jika kata-kata tersebut dapat dengan baik disampaikan, maka robot akan melakukan perintahnya dengan baik dan benar. Untuk dapat melakukan tugas tersebut, robot dirancang dengan dua subsistem yang memiliki perannya masing-masing. Subsistem pertama adalah subsistem *speech recognition* yang melakukan perekaman, penyimpanan, dan pemrosesan data suara perintah yang diberikan melalui *microphone webcam* secara langsung. Pengujian dari implementasi subsistem ini dapat dikatakan berhasil karena dari subsistem dapat melakukan keseluruhan tugasnya dengan baik. Walaupun begitu, hasil dari tingkat keberhasilan model *machine learning* dalam melakukan klasifikasi suara perintah masih memiliki rata-rata presentase keberhasilan tertinggi yaitu 28.33% dengan kondisi hening dan jarak 10 – 20 cm.

Kemudian, untuk subsistem kedua adalah subsistem kendali *servo motor* robot yang memiliki peran untuk menggerakkan *servo motor* robot dengan menggunakan perangkat keras Arduino UNO sesuai dengan data yang dikirimkan oleh hasil pemrosesan perintah suara. Subsistem ini mampu melakukan tugasnya dengan baik serta menggerakkan *servo motor* robot sesuai dengan data yang diberikan walaupun pergerakan tidak sesuai dengan suara perintah yang diberikan karena bergantung pada subsistem *speech recognition* yang memiliki tingkat keberhasilan dibawah 50%. Secara keseluruhan, semua subsistem yang dikembangkan untuk membuat produk Voice Interactive Learning Robot ini mampu melakukan tugasnya masing-masing dan bisa mengeluarkan hasil pergerakan sesuai dengan rancangan pengembangan dengan catatan masih kurangnya tingkat keberhasilan klasifikasi suara perintah secara langsung yang dilakukan oleh model *machine learning* karena faktor-faktor tertentu.

5.2.5. Saran Pengembangan Produk

Terdapat beberapa saran yang dapat diberikan dari hasil pengembangan produk Voice Interactive Learning Robot untuk pengembangan lebih lanjut oleh peneliti selanjutnya. Saran pertama adalah melakukan pembenaran pada subsistem *speech recognition* untuk meningkatkan tingkat keberhasilan yang dilakukan oleh model *machine learning*. Pembenaran yang dimaksudkan adalah dengan menggunakan *microphone webcam* dengan kualitas yang lebih baik lagi dalam menangkap suara perintah yang diberikan oleh pengguna. Namun, yang lebih pentingnya adalah memperbanyak *dataset* suara atau audio yang digunakan dalam pelatihan model *machine learning* untuk proses klasifikasi suara perintah. Hal ini dikarenakan hasil dari klasifikasi yang dilakukan oleh model *machine learning* buatan peneliti masih memiliki tingkat keberhasilan dibawah setengah yang mungkin disebabkan karena model *machine learning* mengalami *overfitting*. *Overfitting* sendiri terjadi karena *dataset* yang digunakan masih kurang banyak dimana dalam model *machine learning* yang dilatih oleh peneliti hanya menggunakan sebanyak 4.470 data audio saja. Peningkatan lainnya yang dapat dilakukan oleh peneliti selanjutnya adalah dengan menggunakan kamera yang ada pada *webcam* untuk fitur *object detection* ataupun melanjutkan tahap pengenalan suara dari *speech recognition* menjadi *voice recognition*.

