

RELIABILITAS SISTEM TIGA KOMPONEN TERSUSUN SERI TERHADAP PARALEL

¹Sudarno, ²Alan Prahutama, ³Fathimatuzzahra Syahrozad Nuroqi

^{1,2,3}Departemen Statistika FSM Universitas Diponegoro

Email : dsghani@gmail.com

ABSTRAK

Reliabilitas merupakan peluang suatu unit atau komponen akan beroperasi dengan baik dalam jangka waktu tertentu di bawah kondisi pemakaian yang sesuai prosedur tanpa kegagalan. Reliabilitas komponen merupakan peluang komponen mampu hidup atau baru mati setelah waktu tertentu. Reliabilitas komponen dapat dipergunakan untuk menghitung reliabilitas sistem. Perhitungan reliabilitas sistem bergantung pada susunan komponen yang membentuk sistem tersebut. Susunan sistem dalam penelitian ini menggunakan seri terhadap paralel. Komponen elektronika berupa satu resistor dan dua LED yang membentuk lampu PCB. Data yang diambil merupakan waktu kegagalan komponen dan berupa data bangkitan. Untuk masalah ini diambil sebanyak 50 data dari masing-masing komponen. Uji kecocokan distribusi menggunakan metode Anderson-Darling, sedangkan taksiran parameter distribusi menggunakan metode *median rank regression estimation* (MRRE) dan *maximum likelihood estimation* (MLE). Hasil yang didapat bahwa waktu kegagalan resistor berdistribusi Weibull, waktu kegalan LED₁ berdistribusi normal dan waktu kegagalan LED₂ berdistribusi lognormal. Estimasi parameter distribusi Weibull menggunakan MRRE didapat $\hat{\gamma} = 15,57$ dan $\hat{\theta} = 42999,12$, estimasi parameter distribusi normal menggunakan MLE didapat $\hat{\mu} = 40068,62$ dan $\hat{\sigma} = 451,17$ dan estimasi parameter distribusi lognormal menggunakan MLE didapat $\hat{\mu}_l = 10,60$ dan $\hat{\sigma}_l = 0,01$. Secara umum dapat dikatakan bahwa baik untuk reliabilitas komponen maupun reliabilitas sistem dengan bertambahnya waktu kegagalan berimplikasi menurunnya nilai reliabilitas.

Kata kunci : Reliabilitas, Sistem seri terhadap paralel, Anderson-Darling.

PENDAHULUAN

Sistem adalah sekumpulan komponen yang dirangkai menjadi desain tertentu untuk mencapai fungsi yang diinginkan dengan kinerja dan ukuran reliabilitas yang dapat diterima. Sedangkan komponen adalah bagian atau unsur yang akan digunakan sebagai penunjang suatu sistem. Komponen-komponen yang menyusun sistem kerja produk perlu disusun secara terpadu agar memenuhi fungsi kerja sistem yang aman dan tepat. Penyusunan secara terpadu diperlukan

guna meminimalisir kerugian ekonomi, menunjang keselamatan kerja, serta memberikan kualitas produk yang baik [7]. Dengan demikian, komponen dalam sistem dapat disusun dengan beberapa konfigurasi, yaitu 1) sistem komponen seri merupakan konfigurasi dimana semua komponen dihubungkan secara bersambungan, 2) sistem komponen paralel merupakan konfigurasi dimana semua komponen dihubungkan secara saling sejajar, 3) sistem komponen paralel-seri atau seri-paralel merupakan konfigurasi dimana beberapa komponen

dihubungkan secara seri dan lainnya dihubungkan secara paralel atau sebaliknya, dan 4) sistem komponen kompleks merupakan konfigurasi dimana komponennya disusun dalam bermacam-macam bentuk campuran atau modifikasinya [4].

Analisis reliabilitas merupakan analisis kemungkinan bahwa produk akan berfungsi dengan baik selama periode waktu tertentu di bawah kondisi pemakaian tanpa kegagalan [4]. Dalam [2] dibahas bahwa availabilitas merupakan ukuran performa suatu komponen atau sistem yang dipengaruhi oleh reliabilitas, pemeliharaan dan dukungan logistik yang dimiliki komponen atau sistem tersebut. Untuk sistem susunan seri, dikatakan bahwa reliabilitas dipengaruhi oleh waktu kegagalan dan waktu perbaikan. Sedangkan pada [11] menggunakan sistem yang tersusun secara paralel dibahas bahwa reliabilitas sistem dipengaruhi oleh rata-rata waktu kegagalan tiap komponen. Selain itu, Pada [6] dihasilkan bahwa dalam analisis reliabilitas sistem seri untuk mengukur efisiensi komponennya menggunakan koefisien korelasi antar komponennya, sedangkan menurut [12] dikatakan bahwa dalam barisan peluang sistem seri, kegagalan dibagi menjadi dua kasus, yaitu kegagalan berbahaya dan kegagalan umum. Ingin ditentukan alokasi unit yang optimal untuk oleh meminimalisir kegagalan.

Penelitian ini mengkaji reliabilitas sistem tiga komponen yang tersusun secara seri terhadap paralel. Ide sistemnya berupa susunan elektronika lampu dengan komponen yang terdiri dari satu resistor dan dua LCD. Tujuan penulisan ini adalah menentukan distribusi waktu kegagalan masing-masing komponen, mengestimasi parameter distribusi, menentukan fungsi densitas dan fungsi distribusi variable acak, menghitung reliabilitas dari

masing-masing komponen dan mencari reliabilitas sistem. Untuk menghitung reliabilitas diperlukan fungsi densitas dan fungsi distribusi. Dengan tersedianya fungsi atau nilai reliabilitas baik untuk komponen maupun sistem, maka dapat diprediksi peluang umur masa pakai suatu produk.

METODE PENELITIAN

Sumber Data dan Variabel Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data bangkitan. Penggunaan data bangkitan dikarenakan sulitnya memperoleh data primer atau sekunder perihal umur komponen. Data yang dibangkitkan adalah data waktu kerusakan komponen resistor dan LED. Sistem yang dibuat terdiri dari tiga komponen yang berupa satu resistor dan dua LED dengan susunan seri terhadap paralel. Variable yang digunakan adalah waktu kegagalan resistor, waktu kegagalan LED₁ dan waktu kegagalan LED₂.

Metode Analisis

Tahapan analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

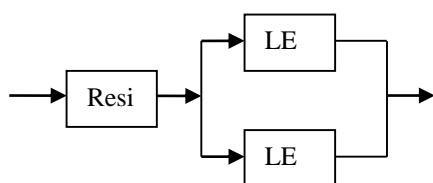
- 1) Membangkitkan data variabel yaitu data waktu kegagalan tiap komponen, dengan ukuran sampel masing-masing variabel adalah 50 data.
- 2) Menguji distribusi setiap variabel menggunakan metode Anderson Darling.
- 3) Menaksir nilai parameter dari data tiap variabel menggunakan metode *median rank regression estimation* (MRRE) untuk distribusi Weibull dan *maximum likelihood estimation* (MLE) untuk distribusi normal dan lognormal.
- 4) Menentukan fungsi densitas $f(t)$ tiap variabel.

- 5) Menentukan fungsi distribusi kumulatif $F(t)$ tiap variabel.
- 6) Menentukan fungsi reliabilitas sistem dan menghitung nilai reliabilitasnya berdasarkan susunan komponen seri terhadap paralel.

HASIL PENELITIAN

Susunan Sistem dan Data Waktu Kegagalan Komponen

Sistem yang diteliti dalam penelitian ini adalah sistem yang terdiri dari tiga komponen dengan susunan seri terhadap paralel. Sistemnya dibentuk oleh satu resistor dan dua LED, dengan rancangan gambar sebagai berikut:



Gambar 1. Sistem seri terhadap paralel pada lampu PCB

Data yang diperoleh merupakan data bangkitan berupa waktu kegagalan dari masing-masing komponen. Data waktu kegagalan tersebut masing-masing memiliki 50 data pengamatan (jam). Adapun data waktu kegagalan seperti ditampilkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Data Waktu Kegagalan

No.	Variabel (jam)		
	I	R	LED ₂
1	33.974,83	39.228,57	38.693,14
2	35.075,81	39.379,41	39.282,11
3	35.849,21	39.502,31	39.383,89
4	36.010,21	39.669,28	39.439,16
5	36.509,16	39.672,66	39.490,24
6	37.342,41	39.677,94	39.610,82
7	37.934,29	39.699,32	39.625,94
8	38.000,94	39.709,45	39.667,09
9	38.698,56	39.727,16	39.702,13
10	38.720,98	39.744,12	39.721,20
11	38.761,99	39.796,07	39.731,77
12	39.612,70	39.934,94	39.739,68
13	39.795,29	39.959,60	39.769,12

I	R	LED ₁	LED ₂
14	40.177,05	39.961,10	39.773,98
15	40.182,15	39.980,29	39.798,95
16	40.239,68	39.989,40	39.850,64
17	40.359,74	39.996,74	39.855,40
18	40.494,81	40.009,98	39.877,76
19	40.703,93	40.023,57	39.887,40
20	40.742,76	40.062,88	39.947,46
21	40.972,09	40.070,55	39.962,19
22	41.165,63	40.086,06	40.033,06
23	41.328,71	40.093,66	40.046,76
24	41.737,62	40.096,61	40.071,63
25	41.904,40	40.149,57	40.090,92
26	42.016,02	40.183,97	40.098,16
27	42.073,43	40.219,56	40.107,50
28	42.123,89	40.246,62	40.117,83
29	42.595,53	40.251,64	40.153,38
30	42.637,61	40.251,73	40.205,51
31	43.034,01	40.293,32	40.236,78
32	43.135,44	40.332,40	40.244,84
33	43.315,65	40.368,34	40.255,83
34	43.481,50	40.369,62	40.267,78
35	43.608,13	40.371,83	40.280,27
36	43.655,21	40.401,62	40.305,29
37	43.657,69	40.404,36	40.311,57
38	43.705,21	40.473,71	40.321,02
39	43.737,46	40.495,07	40.347,59
40	43.861,91	40.518,28	40.365,74
41	44.353,05	40.548,37	40.410,39
42	44.795,98	40.550,50	40.416,34
43	45.115,85	40.580,22	40.499,91
44	45.290,68	40.599,38	40.512,60
45	45.373,68	40.632,87	40.514,45
46	45.550,36	40.746,22	40.554,33
47	46.438,21	40.779,64	40.698,34
48	46.595,25	40.823,66	40.819,51
49	46.748,05	40.826,29	41.136,00
50	46.764,57	40.878,48	41.197,70

Uji Hipotesis Distribusi Waktu Kegagalan Komponen

1. Waktu kegagalan resistor

Ingin diketahui distribusi waktu kegagalan resistor menggunakan uji kecocokan distribusi Anderson-Darling.

Hipotesis:

H_0 : Data berdistribusi Weibull

H_1 : Data tidak berdistribusi Weibull

Jika diambil tingkat kesalahan $\alpha = 5\%$, didapat nilai kritisnya adalah 0,757.

Statistik uji $A^* = 0,199$.

Daerah penerimaan H_0 adalah $A \leq 0,757$ dan daerah penerimaan H_1 adalah $A > 0,757$. Karena 0,199 berada di daerah penerimaan H_0 , maka H_0 diterima artinya waktu kegagalan resistor berdistribusi Weibull.

2. Waktu kegagalan LED₁

Ingin diketahui distribusi waktu kegagalan LED₁ menggunakan uji kecocokan distribusi Anderson-Darling.

Hipotesis:

H_0 : Data berdistribusi normal

H_1 : Data tidak berdistribusi normal

Jika diambil tingkat kesalahan $\alpha = 5\%$, maka nilai kritisnya adalah 0,739.

Statistik uji $A^* = 0,294$.

Daerah penerimaan H_0 adalah $A \leq 0,739$ dan daerah penerimaan H_1 adalah $A > 0,739$. Karena 0,294 berada di daerah penerimaan H_0 , maka H_0 diterima artinya waktu kegagalan LED₁ berdistribusi normal.

3. Waktu kegagalan LED₂

Ingin diketahui distribusi waktu kegagalan LED₂ menggunakan uji kecocokan distribusi Anderson-Darling.

Hipotesis:

H_0 : Data berdistribusi lognormal

H_1 : Data tidak berdistribusi lognormal

Jika diambil tingkat kesalahan $\alpha = 5\%$, maka nilai kritisnya adalah 0,739.

Statistik uji $A^* = 0,241$.

Daerah penerimaan H_0 adalah $A \leq 0,739$ dan daerah penerimaan H_1 adalah $A > 0,739$. Karena 0,241 berada di daerah penerimaan H_0 , maka H_0 diterima artinya waktu kegagalan LED₂ berdistribusi lognormal.

Estimasi Parameter Distribusi Waktu Kegagalan Komponen

1. Distribusi Weibull

Karena waktu kegagalan resistor berdistribusi Weibull, maka perlu dicari parameter distribusinya. Estimasi parameter menggunakan median rank regression estimation (MRRE), yaitu dengan mentransformasi fungsi distribusi Weibull ke dalam model regresi linier.

Estimasi paramaternya didapat

$$\hat{\gamma} = 15,57$$

$$\hat{\theta} = 42.999,12$$

Oleh karena itu, fungsi densitas Weibull adalah

$$f(t) = 0,0004 \left(\frac{t}{42.999,12} \right)^{14,57} \exp \left[- \left(\frac{t}{42.999,12} \right)^{15,57} \right], t \geq 0$$

Fungsi distribusi Weibull adalah

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{42.999,12} \right)^{15,57} \right], t \geq 0$$

2. Distribusi normal

Karena waktu kegagalan LED₁ berdistribusi normal, maka perlu dicari parameter distribusinya. Estimasi parameter menggunakan maximum likelihood estimation (MLE), yaitu dengan memaksimumkan fungsi log-likelihood yang berdasar perkalian dari fungsi densitas semua variable acaknya. Estimasi paramaternya didapat

$$\hat{\mu} = 40.068,62$$

$$\hat{\sigma} = 451,17$$

Oleh karena itu, fungsi densitas normal adalah

$$f(t) = \frac{1}{1.130,92} \exp \left[- \frac{1}{2} \left(\frac{t - 40.068,62}{451,17} \right)^2 \right], t \geq 0$$

Fungsi distribusi normal adalah

$$F(t) = \Phi\left(\frac{t - 40.068,62}{451,17}\right), \quad t \geq 0$$

dengan $\Phi(z)$ adalah fungsi distribusi normal baku pada variabel z.

3. Distribusi lognormal

Karena waktu kegagalan LED₂ berdistribusi lognormal, maka perlu dicari parameter distribusinya. Estimasi parameter menggunakan maximum likelihood estimation (MLE), yaitu dengan memaksimumkan fungsi log-likelihood yang berdasar perkalian dari fungsi densitas semua variable acaknya. Estimasi paramaternya didapat

$$\hat{\mu}_t = 10,60$$

$$\hat{\sigma}_t = 0,010$$

Oleh karena itu, fungsi densitas lognormal adalah

$$f(t) = \frac{1}{0,024t} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - 10,60}{0,010}\right)^2\right], \quad t \geq 0$$

Fungsi distribusi lognormal adalah

$$F(t) = \Phi\left(\frac{\ln t - 10,60}{0,010}\right), \quad t \geq 0$$

dengan $\Phi(z)$ adalah fungsi distribusi normal baku pada variabel z.

Reliabilitas Komponen

Nilai reliabilitas masing-masing komponen dihitung berdasarkan waktu kegagalan komponen dengan syarat semua parameter distribusinya telah diketahui.

1. Reliabilitas resistor

Karena waktu kegagalan resistor berdistribusi Weibull maka reliabilitasnya adalah

$$R(t) = \exp\left(\left(-\frac{t}{15.57}\right)^{4299912}\right)$$

Perolehan nilai $R(t)$ ditunjukkan pada di bawah ini.

Tabel 2. Nilai $R(t)$ untuk waktu kegagalan resistor

<i>i</i>	<i>t</i>	R(t)	<i>i</i>	<i>t</i>	R(t)
1	33.974,83	0,9747781	26	42.016,02	0,4977678
2	35.075,81	0,9588982	27	42.073,43	0,4903625
3	35.849,21	0,9427640	28	42.123,89	0,4838246
4	36.010,21	0,9387577	29	42.595,53	0,4217038
5	36.509,16	0,9246902	30	42.637,61	0,4161007
6	37.342,41	0,8947103	31	43.034,01	0,3632348
7	37.934,29	0,8675195	32	43.135,44	0,3497588
8	38.000,94	0,8641103	33	43.315,65	0,3259676
9	38.698,56	0,8237638	34	43.481,50	0,3043207
10	38.720,98	0,8223185	35	43.608,13	0,2880066
11	38.761,99	0,8196497	36	43.655,21	0,2819969
12	39.612,70	0,7566526	37	43.657,69	0,2816813
13	39.795,29	0,7411534	38	43.705,21	0,2756509
14	40.177,05	0,7064161	39	43.737,46	0,2715786
15	40.182,15	0,7059306	40	43.861,91	0,2560305
16	40.239,68	0,7004152	41	44.353,05	0,1978275
17	40.359,74	0,6886745	42	44.795,98	0,1508509
18	40.494,81	0,6750957	43	45.115,85	0,1208710
19	40.703,93	0,6533087	44	45.290,68	0,1060153
20	40.742,76	0,6491626	45	45.373,68	0,0993544
21	40.972,09	0,6240484	46	45.550,36	0,0860280
22	41.165,63	0,6020452	47	46.438,21	0,0364037
23	41.328,71	0,5829594	48	46.595,25	0,0304438
24	41.737,62	0,5331095	49	46.748,05	0,0253629
25	41.904,40	0,5120566	50	46.764,57	0,0248540

Berdasarkan hasil reliabilitas resistor dapat diketahui bahwa peluang resistor pada sistem mampu bertahan hidup sampai waktu 33.974,83 jam (waktu kegagalan pertama) adalah sebesar 0,9747781. Begitu pula peluang komponen mampu bertahan sampai waktu kegagalan ke-2 adalah sebesar 0,9588982. Begitu seterusnya hingga waktu kegagalan ke-50.

2. Reliabilitas LED₁

Karena waktu kegagalan LED₁ berdistribusi normal maka reliabilitasnya adalah

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - 40068,62}{451,17}\right)$$

Perolehan nilai $R(t)$ disajikan pada tabel berikut ini :

Tabel 3. Nilai $R(t)$ untuk waktu kegagalan LED₁

i	t	$R(t)$
1	38.693,14	0,9988508
2	39.282,11	0,9593565
3	39.383,89	0,9354520
4	39.439,16	0,9185181
5	39.490,24	0,9000710
6	39.610,82	0,8448747
7	39.625,94	0,8367489
8	39.667,09	0,8132608
9	39.702,13	0,7916937
10	39.721,20	0,7793632
11	39.731,77	0,7723525
12	39.739,68	0,7670250
13	39.769,12	0,7466011
14	39.773,98	0,7431412
15	39.798,95	0,7249850
16	39.850,64	0,6855042
17	39.855,40	0,6817494
18	39.877,76	0,6638657
19	39.887,40	0,6560365
20	39.947,46	0,6058619
21	39.962,19	0,5932454
22	40.033,06	0,5314127
23	40.046,76	0,5193236
24	40.071,63	0,4973402
25	40.090,92	0,4802913

Tabel 4. Nilai $R(t)$ untuk waktu kegagalan LED₂

i	t	$R(t)$
1	39.228,57	0,9927452
2	39.379,41	0,9796683
3	39.502,31	0,9576679
4	39.669,28	0,9010271
5	39.672,66	0,8994815
6	39.677,94	0,8970322
7	39.699,32	0,8866749
8	39.709,45	0,8815182
9	39.727,16	0,8721124
10	39.744,12	0,8626343
11	39.796,07	0,8307046
12	39.934,94	0,7244794
13	39.959,60	0,7027307
14	39.961,10	0,7013833
15	39.980,29	0,6839109
16	39.989,40	0,6754699
17	39.996,74	0,6686039
18	40.009,98	0,6560790
19	40.023,57	0,6430470
20	40.062,88	0,6044760
21	40.070,55	0,5968203
22	40.086,06	0,5812326
23	40.093,66	0,5735483
24	40.096,61	0,5705583
25	40.149,57	0,5163923

Berdasarkan hasil reliabilitas LED₁ dapat diketahui bahwa peluang LED₁ pada sistem mampu bertahan hidup sampai waktu 38.693,14 jam (waktu kegagalan pertama) adalah sebesar 0,9988508. Begitu pula peluang komponen mampu bertahan sampai waktu kegagalan ke-2 adalah sebesar 0,9593565. Begitu seterusnya hingga waktu kegagalan ke-50.

3. Reliabilitas LED₂

Karena waktu kegagalan LED₂ berdistribusi lognormal maka reliabilitasnya adalah

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln t - 10,6}{0,01}\right)$$

Perolehan nilai $R(t)$ ditampilkan pada tabel berikut.

Berdasarkan hasil reliabilitas LED₂ dapat diketahui bahwa peluang LED₂ pada sistem mampu bertahan hidup sampai waktu 39.228,57 jam (waktu kegagalan pertama) adalah sebesar 0,9927452. Begitu pula peluang komponen mampu bertahan sampai waktu kegagalan ke-2 adalah sebesar 0,9796683. Begitu seterusnya hingga waktu kegagalan ke-50. Secara umum, dengan bertambahnya waktu hidup komponen (karena dipakai) maka nilai reliabilitasnya makin menurun.

Reliabilitas Sistem

Reliabilitas sistem dihitung berdasarkan susunan komponen dan reliabilitas masing-masing komponen. Menurut gambar 1, maka susunan

komponennya merupakan susunan seri terhadap paralel. Nilai reliabilitas untuk susunan seri merupakan perkalian dari masing-masing nilai reliabilitas komponen yang menyusunnya, sedangkan nilai reliabilitas untuk susunan paralel merupakan komplemen dari perkalian masing-masing fungsi distribusi komponen yang membentuknya. Oleh karena itu nilai reliabilitas sistem dapat dikonstruksi sebagai berikut.

Jika fungsi reliabilitas sistem dinotasikan dengan $R_{sistem}(t)$ maka

$$R_{sistem}(t) = R_1(t) R_p(t)$$

dengan $R_1(t)$ adalah reliabilitas resistor, $R_p(t)$ adalah reliabilitas paralel dari LED₁ dan LED₂ untuk waktu kegagalan t . Karena $R_p(t)$ merupakan reliabilitas susunan paralel, maka

$$R_p(t) = 1 - \prod_{i=2}^3 (1 - R_i(t))$$

dengan $R_2(t)$ dan $R_3(t)$ masing-masing merupakan reliabilitas LED₁ dan LED₂. Sehingga dengan mensubstitusi $R_p(t)$ ke dalam $R_{sistem}(t)$ dan disederhanakan diperoleh

$$R_{sistem}(t) = R_1(t) R_2(t) + R_1(t) R_3(t) - R_1(t) R_2(t) R_3(t)$$

Untuk perhitungan nilai reliabilitas sistem ditabelkan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 5. Nilai reliabilitas sistem

No.	R _{sistem}	No.	R _{sistem}
1	0,9747700	26	0,3618598
2	0,9581058	27	0,3448423
3	0,9401879	28	0,3306072
4	0,9311871	29	0,2793006
5	0,9154020	30	0,2646333
6	0,8804192	31	0,2158118
7	0,8514700	32	0,1978515
8	0,8449917	33	0,1753692
9	0,8018190	34	0,1614392
10	0,7973957	35	0,1503912
11	0,7880607	36	0,1382648
12	0,7080835	37	0,1366595
13	0,6853240	38	0,1214305
14	0,6522323	39	0,1123239
15	0,6445646	40	0,1001316
16	0,6289285	41	0,0693870
17	0,6160421	42	0,0522570

No.	R _{sistem}	No.	R _{sistem}
18	0,5970522	43	0,0349193
19	0,5730962	44	0,0290334
20	0,5479639	45	0,0256666
21	0,5217075	46	0,0171840
22	0,4839064	47	0,0049039
23	0,4634613	48	0,0028001
24	0,4180308	49	0,0014000
25	0,3833588	50	0,0010000

Berdasarkan hasil reliabilitas sistem tersebut dapat diketahui bahwa peluang sistem mampu bertahan hidup sampai waktu kegagalan pertama dari tiap komponen, yaitu pada waktu 33.974,83 jam (untuk resistor), 38.693,14 jam (untuk LED₁) dan 39.228,57 jam (untuk LED₂) adalah sebesar 0,97477. Begitu pula peluang sistem mampu bertahan hidup sampai waktu kegagalan ke-2 dari tiap komponen adalah sebesar 0,9581058. Begitu seterusnya hingga kegagalan ke-50 dari masing-masing komponen.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dapat diambil kesimpulan bahwa uji kesesuaian distribusi menggunakan metode Anderson-Darling diperoleh hasil waktu kegagalan resistor berdistribusi Weibull, waktu kegalan LED₁ berdistribusi normal dan waktu kegagalan LED₂ berdistribusi lognormal. Estimasi parameter distribusi Weibull menggunakan MRRE didapat $\hat{\gamma} = 15,57$ dan $\hat{\theta} = 42.999,12$, estimasi parameter distribusi normal menggunakan MLE didapat $\hat{\mu} = 40.068,62$ dan $\hat{\sigma} = 451,17$ dan estimasi parameter distribusi lognormal menggunakan MLE didapat $\hat{\mu}_l = 10,60$ dan $\hat{\sigma}_l = 0,01$. Secara umum dapat dikatakan bahwa baik untuk reliabilitas komponen maupun reliabilitas sistem dengan

bertambahnya waktu kegagalan berimplikasi menurunnya nilai reliabilitas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ang, A. H. S. dan Tang, W. H. 2007. *Probability Concepts in Engineering*, Second Edition.
- [2] Anugraheni, A. 2013. Kajian Availabilitas pada Sistem Komponen Seri. *Jurnal Gaussian*. Vol. 2, No. 3, Halaman 187-196.
- [3] Bain, L. J. dan Engelhardt, M. 1992. *Introduction to probability and Mathematical Statistics*, Second Edition. California: Duxbury Press.
- [4] Elsayed, A. E. 1996. *Reliability Engineering*. Massachusets: Addison Wesley Longman, Inc.
- [5] Fallo, J. O., Setiawan, A., dan Susanto, B. 2013. Uji Normalitas Berdasarkan Metode Anderson-Darling, Cramer-Von Mises dan Lilliefors menggunakan Metode Bootstrap. *Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika*. ISBN: 978-979-16353-9-4.
- [6] Gong, C., and Zou, W. 2017. Improvement of equivalent component approach for reliability analysis of series systems. *Structural Safety*. Vol. 68, Pages 65-72.
- [7] Mott, R. L. 1985. *Machine Elements in Mechanical Design*, Fourth Edition. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- [8] Nielsen, M. A.. 2011. Parameter Estimation for the Two-Parameter Weibull Distribution. *All Theses and Dissertations*. Paper 2509. Provo: Brigham Young University.
- [9] O'connor, P. D. T., dan Kleyner, A. 2012. *Practical Reliability Engineering*, Fifth Edition. United Kigdom: John Wiley & Sans, Ltd.
- [10] Pham, H. 2003. *Handbook of Reliability Engineering*. London: Springer-Verlag.
- [11] Pradewi, R. A. A. 2014. Kajian Reliabilitas dan Availabilitas pada Sistem Komponen Paralel. *Jurnal Gaussian*. Vol. 3, No. 2, Halaman 243-252.
- [12] Qingan, Q., Lirong, C., and Hongda, G. 2018. Optimal allocation of units in sequential probability series systems. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 169, Pages 351-363.