

PENILAIAN PERFORMANSI KINERJA RELIABILITY, AVAILABILITY, DAN MAINTAINABILITY DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI MONTE CARLO PADA PERANGKAT PENSINYALAN SOLID STATE INTERLOCKING (SSI) DI DAOP 2 BANDUNG PT KERETA API INDONESIA

Ni Kadek Dewi Pradnyawati¹, Sutrisno², R Rohmat Saedudin³

¹²³Prodi S1 Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

¹kadekdewi@outlook.com, ²mr.sutrisno@yahoo.com, ³rrohmat.saedudin@gmail.com

Abstrak

Kereta merupakan salah satu transportasi yang terdapat di Indonesia. Untuk mengoperasikan sebuah kereta dibutuhkan suatu system yang terdiri dari beberapa bagian seperti lokomotif, gerbong, roda, jalur kereta dan system persinyalan kereta. Solid State Interlocking (SSI) merupakan salah satu system persinyalan yang terdapat di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui reliability, availability, dan maintainability pada system persinyalan SSI dengan menggunakan Blocksिम 9.0, selain itu juga untuk mengetahui equipment yang memiliki persentase tinggi untuk menyebabkan system gagal berdasarkan RS FCI dan RS DTCL. Hasil yang akan didapatkan dari simulasi Blocksिम adalah mampu mengetahui equipment yang memiliki tingkat kritis paling tinggi berdasarkan RS FCI dan RS DTCL. Berdasarkan hasil simulasi Blocksिम dengan waktu 8760 jam didapatkan bahwa reliability system ketika 0% didapatkan pada waktu 1510 jam dengan availability 99.46%. Berdasarkan RS FCI equipment yang memiliki persentase tinggi untuk mengalami kerusakan adalah MPMC, MPM B, PPM A, MPM A, PPM B, sedangkan berdasarkan RS DTCL equipment yang memiliki persentase tinggi untuk menyebabkan system persinyalan SSI gagal adalah SIN, PPM A, PPM B, MPM A, dan MPM B. Untuk mencegah kegagalan system dapat dilakukan dengan menyiapkan equipment cadangan dan kemudian disusun secara parallel pada equipment dengan nilai RSFCI dan RS DTCL tertinggi.

Kata kunci : *Reliability, Availability, Maintainability, SSI, Blocksिम 9.0*

Abstract

Train is one of transportation in Indonesia. To operate a train requires a system that consists of several parts such as locomotives, carriages, wheels, train lines and train signaling system. Solid State Interlocking (SSI) is a signaling system that is located in Indonesia. The purpose of this research is to determine the reliability, availability, and maintainability of the system signaling SSI using Blocksिम 9.0, and also to know the equipment which has a high percentage to cause system failure by RS FCI and RS DTCL. The results to be obtained from the simulation Blocksिम is to know the equipment that has the highest level of RS FCI and RS DTCL. Based on simulation results with a time of 8760 hours, Blocksिम found that the system reliability when 0% is obtained at the time of 1510 hours with availability of the system is 99.46% . Based on RS FCI, equipment that has a high percentage to cause system failure signaling SSI is MPM C, MPM B, PPM A, MPM A, PPM B, while based on RS DTCL, equipment that has a high percentage to cause system failure signaling SSI is SIN, PPM A, PPM B, MPM A, and MPM B. To prevent failure of the system can be done by setting up the equipment which has the highest percentage based on RS FCI and RS DTCL and arranged it in parallel.

Keywords: *Reliability, Availability, Maintainability, SSI, Blocksिम 9.0*

1. Pendahuluan

Kereta merupakan salah satu jenis transportasi yang terdapat di Indonesia dan dapat digunakan oleh siapa saja. Kereta api tersusun dari beberapa bagian yaitu lokomotif, gerbong, roda dan juga jalur kereta api. Kereta api juga mempunyai sistem pendukung yang terdiri dari pensinyalan dan telekomunikasi. Sistem pensinyalan terdiri dari dua yaitu sistem pensinyalan elektrik dan sistem pensinyalan mekanik. Kedua sistem ini mempunyai peran yang penting dalam keamanan kereta pada saat beroperasi karena sebelum kereta api sampai pada tujuan, harus ada prosedur-prosedur pendahuluan yang dilakukan agar tidak terjadi kesalahan yang dapat menyebabkan kecelakaan. Setiap bagian yang terdapat dalam kereta api mempunyai peranan penting dan harus mempunyai keselamatan yang tinggi. Apabila kereta api mempunyai safety yang rendah maka dapat berdampak pada berbagai hal. Misalnya terjadi kecelakaan, penggunaan biaya perbaikan mesin yang berlebihan, hingga menurunnya jumlah pengguna kereta api. Kecelakaan pada kereta api dapat disebabkan beberapa factor seperti factor sarana, prasarana, operasional, operator, dan factor eksternal. Faktor-faktor yang termasuk dalam prasarana yaitu jalan, bangunan, dan pensinyalan kereta api. Pensinyalan pada kereta api mempunyai peranan yang penting dalam pengoperasiannya. Hal ini dikarenakan pensinyalan kereta

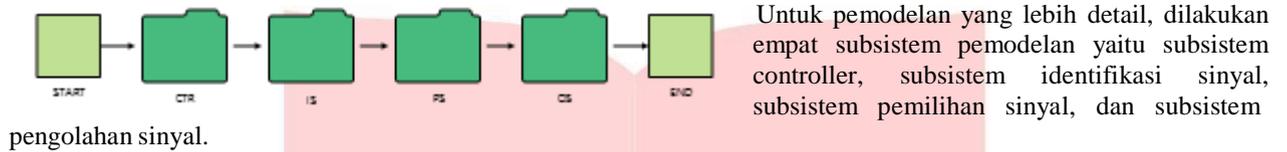
3. Pengumpulan dan Pengolahan Data

3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan berada di Daerah Operasi 2 Bandung PT. Kereta Api Indonesia. Pada pengumpulan data terdapat tiga proses yang terjadi yaitu pengiriman sinyal, pengecekan jalur, dan penguncian wesel.

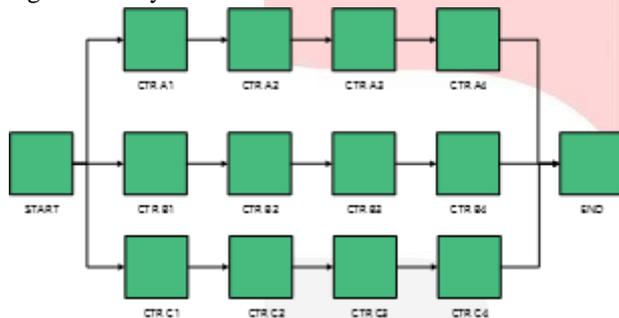
3.2 Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan adalah dengan melakukan perhitungan reliabilty, availability, dan maintainability untuk setiap equipment dan melakukan simulasi dengan melakukan Blocksim 9.0 Langkah pertama dalam melakukan pengolahan data adalah menentukan distribusi dari time to repair, time to failure, dan down time untuk masing-masing equipment. Setelah mengetahui distribusi, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan MTTR, MTBF, dan MDT untuk masing-masing equipment. Lalu langkah selanjutnya adalah dengan melakukan simulasi dengan Blocksim 9.0. Berikut ini adalah pemodelan yang digunakan dalam simulasi Blocksim 9.0



Untuk pemodelan yang lebih detail, dilakukan empat subsistem pemodelan yaitu subsistem controller, subsistem identifikasi sinyal, subsistem pemilihan sinyal, dan subsistem

pengolahan sinyal.



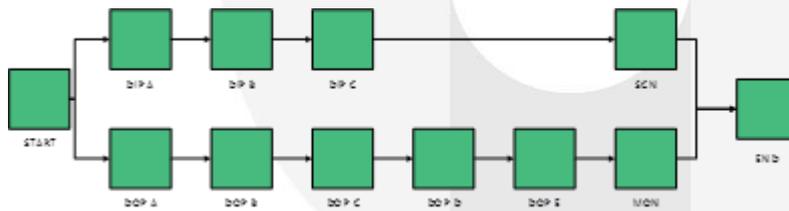
1. Subsistem 1 : Controller (CTR)

Pada subsistem controller terdapat 12 block diagram yang mewakili controller untuk track, wesel, dan sinyal. Berikut ini functional failure dari subsistem 1

- Controller terdiri dari CTR A1, CTR A2, CTR A3, CTR A4 CTR B1, CTR B2, CTR B3, CTR B4, CTR C1, CTR C2, CTR C3, CTR C4. Controller mengalami kegagalan apabila terjadi sistem blank atau overheat.
- Apabila pada CTR A1, A2, A3, dan A4 mengalami kerusakan maka tidak mempengaruhi controller lainnya.

- Apabila pada CTR B1, B2, B3 dan B4 mengalami kerusakan maka tidak mempengaruhi controller lainnya
- Apabila pada CTR C1, C2, C3 dan C4 mengalami kerusakan maka tidak mempengaruhi controller lainnya
- Sistem dikatakan gagal apabila terdapat satu block dari CTR A, CTR B, dan CTR C yang mengalami kerusakan sehingga seluruh controller mengalami kegagalan.

Berdasarkan deskripsi functional failure, maka dapat dikatakan bahwa keterkaitan antar controller adalah sistem campuran atau sistem seri-paralel.



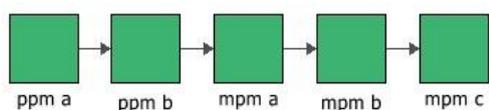
2. Subsistem 2 : Identifikasi sinyal (IS)

Pada subsistem identifikasi sinyal terdapat 10 block diagram yang terdiri dari DIP A, DIP B, DIP C, SCN, DOP A, DOP B, DOP C, DOP D, DOP E, dan MON. Berikut ini adalah

functional failure untuk subsistem 2

- Kerusakan yang terjadi pada equipment DIP dan SCN akibat overheat atau sistem blank tidak mempengaruhi equipment DOP dan MON.
- Kerusakan yang terjadi pada equipment DOP dan MON akibat overheat atau sistem blank tidak mempengaruhi equipment DIP dan SCN.
- Sistem dikatakan gagal apabila seluruh equipment mengalami kegagalan

Berdasarkan deskripsi functional failure di atas maka keterkaitan antar equipment adalah seri-paralel

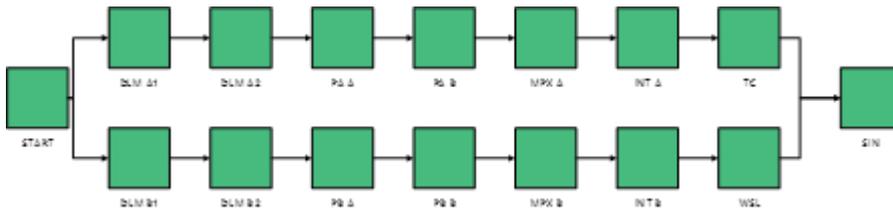


3. Subsistem 3 : Pemilihan sinyal (PS)

Pada subsistem pemilihan sinyal terdapat 5 block diagram yang terdiri dari PPM A, PPM B, MPM A, MPM B, dan MPM C. Berikut ini adalah functional failure untuk subsistem 3

- Sistem dikatakan gagal apabila salah satu dari equipment

PPM atau MPM mengalami kegagalan. Berdasarkan deskripsi functional failure di atas, maka *reliability* block diagram untuk subsistem 3 adalah sebagai berikut



4. Subsystem 4 : Pengolahan sinyal (OS) Pada subsistem pengolahan sinyal terdapat 15 block diagram yang terdiri dari DLM A1, DLM A2, DLM B1, DLM B2,

PA A, PA B, PB A, PB B, MPX A, INT A, MPX B, INT B, TC, WES, dan SIN. Berikut ini adalah functional failure untuk subsistem 4

- Kerusakan yang terjadi pada DLM A1, DLM A2, PA A, PA B, MPX A, INT A, dan TC yang diakibatkan oleh sistem blank atau overheat tidak mempengaruhi equipment lainnya, kecuali equipment SIN
- Kerusakan yang terjadi pada DLM B1, DLM B2, PB A, PB B, MPX B, INT B, dan WSL yang diakibatkan oleh sistem blank atau overheat tidak mempengaruhi equipment lainnya, kecuali equipment SIN
- Sistem dikatakan gagal apabila seluruh equipment mengalami kegagalan.

Setelah mengetahui model untuk masing-masing equipment, perhitungan reliability, availability, dan maintainability dapat dilakukan untuk masing-masing equipment dan keseluruhan system. Reliability merupakan suatu probabilitas yang menunjukkan bahwa sebuah komponen atau sistem dapat berfungsi sesuai dengan yang dibutuhkan dan dalam periode waktu tertentu (Ebeling, 1997). Perhitungan reliability dapat menggunakan rumus berikut ini

$$R(t) = \int_0^t f(t) dt$$

Untuk menghitung reliability dalam suatu system dapat menggunakan persamaan berikut

$$R = R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_n = \prod_{i=1}^n R_i$$

Persamaan di atas dapat digunakan apabila rangkaian yang terdapat dalam system disusun secara seri. Jika rangkaian equipment dalam system disusun secara parallel maka persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$$

Menurut Moubray (1991), availability didefinisikan sebagai suatu ukuran waktu yang dibutuhkan bagi suatu sistem untuk benar-benar beroperasi. Availability terdiri dari dua jenis yaitu inherent availability dan operational availability. Inherent Availability merupakan ukuran kesiapan suatu sistem pada saat dievaluasi dalam kondisi lingkungan yang ideal (Ebeling, 1997). Adapun rumusan yang digunakan untuk menghitung inherent availability sebagai berikut

$$A = \frac{MTTR}{MTTR + MTBF}$$

Selain inherent availability, operational availability merupakan ukuran availability sistem yang mempertimbangkan seluruh jenis downtime, seperti downtime yang diakibatkan oleh logistic, administrasi, delay, corrective, dan preventive maintenance (Ebeling, 1997). Operational availability dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MDT}$$

Untuk menghitung availability dalam suatu system dapat menggunakan persamaan berikut

$$A = A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_n = \prod_{i=1}^n A_i$$

Persamaan di atas dapat digunakan apabila rangkaian yang terdapat dalam system disusun secara seri. Jika rangkaian equipment dalam system disusun secara parallel maka persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut

$$A = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - A_i)$$

Jika dimisalkan n = 3, maka persamaannya menjadi sebagai berikut

$$(A + U)^3 = A^3 + 3AU^2 + 3A^2U + U^3$$

Di mana :

A = probabilitas availability

U = probabilitas unavailability

Menurut Ebeling (1997), maintainability merupakan peluang pada suatu sistem atau komponen yang rusak untuk dikembalikan pada kondisi kerja penuh dalam suatu periode waktu yang telah ditentukan dan dengan prosedur maintenance tertentu. Untuk melakukan perhitungan maintainability dapat menggunakan persamaan berikut

$$M(t) = 1 - \frac{t}{MTBF}$$

Selain itu dalam pengolahan data terdapat inisiasi simulasi menggunakan metode monte carlo. Penggunaan simulasi Monte Carlo dalam penyelesaian masalah pada penelitian dikarenakan pada penelitian yang dilakukan memiliki elemen yang mengikut sertakan faktor kemungkinan dan sulit diselesaikan dengan solusi sistematis. Pada dasarnya konsep dari simulasi Monte Carlo adalah dengan melakukan suatu percobaan elemen kemungkinan dengan menggunakan sampel acak. Ketika akan melakukan simulasi, tahap pendefinisian masalah merupakan tahap yang sangat penting karena dapat mendekatkan simulasi dengan kondisi nyata pada suatu system. Berikut ini adalah tahapan dalam simulasi monte carlo.

1. Memformulasikan Logika Sistem
2. Menentukan Distribusi
3. Mengembangkan Kumulatif Distribusi
4. Menentukan Analisis Monte Carlo

4. Pembahasan dan Analisis

4.1 Reliability komponen

Reliability				
t (hr)	CTR A1	CTR A2	CTR A3	CTR A4
720	39.130%	49.451%	79.878%	43.687%
1440	15.311%	24.454%	49.997%	23.042%
2160	5.991%	12.093%	26.185%	12.852%
2880	2.344%	5.980%	11.779%	7.414%
3600	0.917%	2.957%	4.623%	4.379%
4320	0.359%	1.462%	1.601%	2.634%
5040	0.140%	0.723%	0.493%	1.608%
5760	0.055%	0.358%	0.136%	0.993%
6480	0.022%	0.177%	0.034%	0.620%
7200	0.008%	0.087%	0.008%	0.391%
7920	0.003%	0.043%	0.002%	0.248%
8640	0.001%	0.021%	0.000%	0.159%
8760	0.001%	0.011%	0.000%	0.102%

Perhitungan reliability dengan analytical approach merupakan suatu perhitungan keandalan yang menggunakan reliability block diagram ketika sistem sedang berada pada kondisi frozen state. Rentang waktu yang digunakan dalam perhitungan reliability adalah 1 hingga 8760 jam dengan interval 720 jam. Perhitungan untuk masing-masing equipment dapat dilihat pada lampiran dan berikut ini adalah hasil perhitungan reliability untuk equipment CTR A1, CTR A2, CTR A3, dan CTR A4.

4.2 Availability komponen

Perhitungan *availability* dengan analytical approach merupakan suatu perhitungan *availability* yang menggunakan *reliability* block diagram ketika sistem sedang berada pada kondisi frozen state. Tipe *availability* yang digunakan adalah *inherent availability* dan *operational availability*. Perhitungan untuk masing-masing equipment dapat dilihat pada lampiran dan berikut ini adalah hasil perhitungan *inherent availability* untuk equipment CTR A1, CTR

A2, CTR A3, dan CTR A4.

Equipment	MTTR (Hour)	MTBF (Hour)	Inherent Availability	Operational Time (Hour)	Down Time (Hour)	Operational Availability
CTR A1	0.73	767.35	99.91%	26242.98	37.02	99.86%
CTR A2	0.34	1022.46	99.97%	26252.48	27.52	99.90%
CTR A3	0.62	1616.34	99.96%	26254.50	25.50	99.90%
CTR A4	0.59	1002.29	99.94%	26239.28	40.72	99.84%

Equipment yang terdapat dalam sistem persinyalan SSI selain memiliki nilai *reliability* juga memiliki nilai *availability*.

Availability yang dimaksud adalah *inherent availability* dan *operational availability*. Pada perhitungan *inherent availability*, jika nilai MTBF lebih besar dari nilai MTTR maka nilai *inherent availability* yang dihasilkan akan semakin tinggi juga, sedangkan apabila nilai MTBF lebih kecil dari nilai MTTR maka nilai *inherent availability* yang akan dihasilkan akan kecil juga. Pada perhitungan *operational availability*, jika down time yang terdapat pada suatu equipment bernilai tinggi, maka *operational availability* yang akan dihasilkan memiliki kecenderungan untuk bernilai rendah, sedangkan jika down time yang terdapat pada suatu equipment bernilai rendah, maka *operational availability* yang akan dihasilkan memiliki kecenderungan untuk bernilai tinggi. Selain itu perbedaan antara *inherent availability* dan *operational availability* adalah terdapat down time dalam perhitungan *operational availability*, sedangkan dalam perhitungan *inherent availability* tidak menggunakan data down time yang menyebabkan perbedaan antara *inherent availability* dan *operational availability* tidak terlalu berbeda. Nilai MTTR yang rendah menunjukkan bahwa perbaikan pada suatu equipment hanya membutuhkan waktu yang relative singkat, sedangkan nilai MTTR yang tinggi menunjukkan bahwa perbaikan pada suatu equipment membutuhkan waktu yang lama. Perbaikan yang dilakukan pada system persinyalan SSI dapat dilakukan dengan cara mereset ulang ataupun dengan cara mengkonfigurasi ulang pada equipment yang rusak atau dengan melakukan penggantian equipment. Operational time yang tinggi menunjukkan bahwa suatu equipment mampu beroperasi dengan baik tanpa mengalami waktu kerusakan yang relative tinggi, akan tetapi jika operational time dari suatu equipment bernilai rendah, maka hal tersebut menunjukkan bahwa equipment tersebut mengalami waktu kerusakan yang cukup tinggi ataupun sering mengalami kerusakan. Down time yang rendah menunjukkan bahwa suatu equipment diketahui secara cepat ketika terjadi kerusakan sehingga dapat diperbaiki secara cepat, sedangkan down time yang tinggi menunjukkan bahwa ketika suatu equipment mengalami kerusakan, equipment tersebut tidak langsung diperbaiki karena belum diketahui jika terjadi kerusakan sehingga down time yang dihasilkanpun tinggi.

4.3 Maintainability komponen

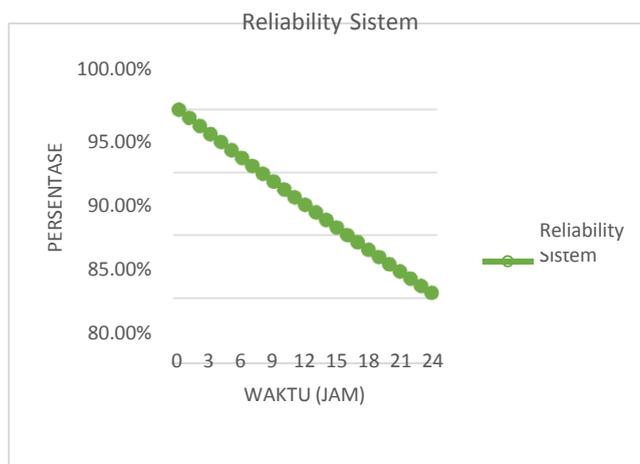
t(hr)	Maintainability			
	Equipment			
	CTR A1	CTR A2	CTR A3	CTR A4
1	26.4763%	74.8016%	48.7455%	99.5258%
2	41.3879%	99.9476%	66.1259%	100.0000%
3	52.1884%	99.9289%	76.1953%	100.0000%
4	60.4634%	99.9531%	82.6798%	100.0000%
5	66.9931%	99.9744%	87.0973%	100.0000%
6	72.2440%	99.9871%	90.2183%	100.0000%
7	76.5236%	99.9938%	92.4816%	100.0000%
8	80.0475%	83.2542%	94.1558%	100.0000%
9	82.9729%	84.5878%	95.4142%	100.0000%
10	85.4177%	85.7370%	96.3725%	100.0000%
11	87.4723%	86.7393%	97.1102%	100.0000%
12	89.2074%	87.6222%	97.6835%	100.0000%

Perhitungan *maintainability* bertujuan untuk mengetahui kemampuan suatu mesin atau equipment untuk diperbaiki dalam t jam. Data yang digunakan dalam perhitungan *maintainability* adalah data time to repair dari setiap equipment dengan waktu untuk perbaikan adalah 1 hingga 12 jam dengan interval 1 jam. Hasil perhitungan *maintainability* untuk seluruh equipment dapat dilihat pada lampiran dan berikut ini adalah hasil perhitungan *maintainability* untuk equipment CTR A1, CTR A2, CTR A3, dan CTR A4.

Setiap equipment mempunyai nilai *maintainability* yang berbeda-beda. Hal ini dikarenakan nilai MTTR dari setiap equipment yang berbeda-beda juga. Jika suatu equipment memiliki nilai MTTR yang rendah, maka persentase *maintainability* dari equipment tersebut memiliki kecenderungan untuk bernilai tinggi. SCN merupakan salah satu equipment dengan nilai *maintainability* yang tinggi ketika $t = 1$ jam dengan nilai *maintainability* sebesar 99.81%. Maksud dari nilai *maintainability* SCN adalah kemampuan suatu equipment

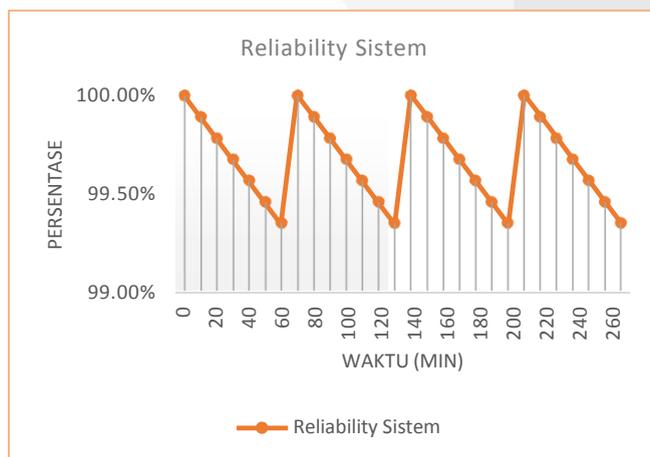
yaitu SCN untuk diperbaiki selama 1 jam dan dapat beroperasi kembali adalah 99.81%. Secara garis besar, equipment dapat diperbaiki dan beroperasi kembali ketika t berada pada rentang 4 hingga 12 jam. Jika equipment membutuhkan waktu lebih dari 12 jam untuk diperbaiki maka dampak yang dapat terjadi adalah terganggunya jadwal keberangkatan ataupun kedatangan kereta api karena terdapat equipment yang mengalami gangguan dan membutuhkan waktu yang cukup lama untuk diperbaiki.

a. Reliability system



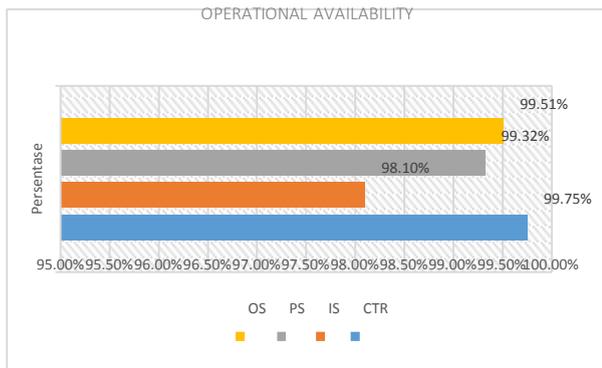
Pada gambar di samping dapat dilihat bahwa reliability system persinyalan SSI menurun dan hamper mendekati 0% pada waktu 1510 jam. Hal ini dikarenakan system yang terdapat pada persinyalan SSI

merupakan system yang berada pada kondisi stand by sehingga reliability dari sistemnya akan terus menurun seiring dengan berjalannya waktu. Selain itu terdapatnya rangkaian equipment yang disusun secara seri pada subsistem ketiga memudahkan system untuk mengalami kegagalan karena jika salah satu equipmen dalam subsistem ketiga mengalami kerusakan makan seluruh system persinyalan akan mengalami kegagalan. Apabila system yang terdapat pada persinyalan SSI merupakan system yang tidak berada pada kondisi standby atau beroperasi hanya jika akan ada kereta yang datang dan dengan asumsi bahwa dalam waktu 60 menit, akan terdapat 5 kereta yang datang dengan



durasi 10 menit untuk setiap operasinya dan 10 menit berikutnya system tidak beroperasi, maka grafik reliability system menjadi gambar di samping ini. Berdasarkan hasil perhitungan reliability terhadap empat subsistem, diketahui bahwa sistem yang memiliki reliabilitas yang paling rendah adalah sistem yang berada pada subsistem 4 yaitu pengolahan sinyal. Pada subsistem 4 memiliki reliabilitas yang rendah karena jumlah block yang terdapat pada subsistem ini sebanyak 15 block dan 7 diantaranya disusun secara seri. Sehingga *reliability* yang terdapat pada subsistem 4 memiliki nilai yang lebih rendah jika dibandingkan dengan subsistem 1.

b. Availability system



operational availability suatu sistem memiliki nilai yang rendah atau tinggi adalah down time yang terdapat pada



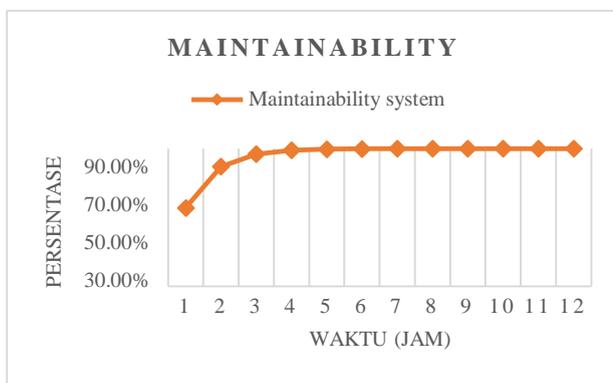
Usulan yang dapat dilakukan untuk mempercepat waktu perbaikan adalah dengan cara mengetahui penyebab kerusakan secara tepat, sehingga tindakan perbaikan yang dapat dilakukan pun lebih tepat. Selain itu dengan mengetahui langkah-langkah perbaikan pada equipment yang mengalami kerusakan juga dapat mempercepat waktu perbaikan. Untuk meningkatkan operational time dapat dilakukan dengan cara melakukan monitoring langsung pada setiap equipment sehingga ketika terjadi kerusakan dapat langsung diperbaiki.

Pada gambar di atas menunjukkan *operational availability* yang terdapat dalam sistem persinyalan SSI yang terdiri dari 4 subsistem. Faktor penyebab yang membuat *operational availability* pada sistem tersebut memiliki nilai yang rendah atau tinggi adalah down time yang terdapat pada sistem tersebut. Semakin tinggi down time yang terdapat pada sistem, maka akan semakin rendah nilai *operational availability* sistem tersebut. Akan tetapi jika down time yang terdapat pada suatu sistem rendah, maka *operational availability* pada sistem tersebut memiliki nilai yang tinggi. Nilai *operational availability* tertinggi terdapat pada subsistem 1 yaitu subsistem controlled dengan nilai *availability* sebesar 99.75% hal ini dikarenakan down time yang terdapat pada equipment dalam subsistem satu memiliki nilai yang rendah yaitu berkisar antara 0.9 jam hingga 1.9 jam. Selain itu nilai *operational availability* terendah terdapat pada subsistem 2 yaitu subsistem

identifikasi sinyal dengan nilai *availability* sebesar 98.10%. dengan nilai down time untuk equipment pada subsistem 2 berkisar antara 0.6 jam hingga 4.6 jam.

Pada gambar di atas menunjukkan *inherent availability* yang terdapat dalam sistem persinyalan SSI yang terdiri dari 4 subsistem. Faktor penyebab yang membuat *inherent availability* suatu sistem memiliki nilai yang rendah atau tinggi adalah nilai dari MTBF dan MTTR yang terdapat pada sistem tersebut. Jika nilai MTBF lebih besar dari nilai MTTR, maka akan semakin tinggi nilai *inherent availability* sistem tersebut. Akan tetapi jika nilai MTBF lebih kecil dari nilai MTTR, maka *inherent availability* pada sistem tersebut memiliki nilai yang rendah. Nilai *inherent availability* tertinggi terdapat pada subsistem 1 yaitu subsistem controlled dengan nilai *inherent availability* sebesar 99.82%. Hal ini dikarenakan nilai MTBF yang terdapat dalam subsistem 1 cenderung lebih besar dari MTTR yaitu berkisar antara 370.7 jam hingga 1616.3 jam dan nilai MTTR untuk subsistem 1 berkisar antara 0.28 jam hingga 1.18 jam. Selain itu nilai *inherent availability* terendah terdapat pada subsistem 2 yaitu subsistem identifikasi sinyal yang memiliki nilai *availability* sebesar 98.18% dengan nilai MTBF berkisar antara 552.2 jam hingga 1050.08 jam dan nilai MTTR berkisar antara 0.16 jam hingga 0.37 jam.

4.6 Maintainability system



Pada gambar di atas menunjukkan persentase kemampuan sistem persinyalan SSI untuk diperbaiki dan dapat beroperasi kembali dalam rentang waktu 1 hingga 12 jam. Persentase yang dihasilkan ketika sistem diperbaiki dalam waktu 1 jam adalah 69.86% dan persentase yang dihasilkan ketika sistem diperbaiki dalam waktu 12 jam adalah 100%. Hal ini dikarenakan equipment yang terdapat dalam sistem persinyalan SSI adalah equipment yang bersifat vital dan mudah untuk diperbaiki apabila terjadi kerusakan. Selain itu jika equipment yang diperbaiki membutuhkan waktu yang lama dalam melakukan perbaikan, maka efek yang dapat ditimbulkan adalah terganggunya sistem perlintasan kereta api atau

dapat mengganggu jadwal keberangkatan maupun kedatangan kereta api.

4.7 Analisis RS FCI dan RS DTCI

RS FCI merupakan suatu indicator yang didapatkan dari hasil simulasi dengan menggunakan Blocksिम. Nilai RS FCI didapatkan dari jumlah kegagalan masing-masing equipment yang dibagi dengan total kegagalan yang terdapat dalam sistem. Semakin besar jumlah kegagalan dari suatu equipment, maka nilai RS FCI yang dihasilkanpun semakin besar juga. RS FCI juga bertujuan untuk mengetahui equipment-equipment yang memiliki tingkat kerusakan lebih tinggi

BLOCK NAME	RS FCI	Block Name	RS DTICI
MPM C	20.32%	SIN	34.82%
MPM B	17.88%	PPM B	20.45%
PPM A	16.62%	PPM A	14.81%
MPM A	16.32%	MPM A	9.94%
PPM B	16.16%	MPM B	9.26%

dibandingkan dengan equipment lainnya. Selain RS FCI, terdapat RS DTICI yang merupakan suatu indicator dari hasil simulasi dengan menggunakan Blocksim. Nilai RS DTICI didapatkan dari jumlah down time masing-masing equipment yang dibagi dengan total down time yang terdapat dalam sistem. Semakin besar waktu down time dari suatu equipment, maka nilai RS DTICI yang dihasilkanpun semakin besar juga. RS DTICI juga bertujuan untuk mengetahui equipment-equipment apa saja yang merupakan performance killer yang dapat menyebabkan kegagalan system persinyalan SSI. Pada dua table di atas dapat dilihat bahwa seluruh equipment yang terdapat pada

subsistem 3 merupakan equipment yang bersifat kritis yang dapat menyebabkan system gagal. Hal ini dikarenakan equipment pada subsistem 3 disusun secara seri, sehingga apabila terjadi kerusakan pada salah satu equipmentnya dapat menyebabkan seluruh system gagal. Sehingga untuk mencegah terjadinya kegagalan system, dapat dilakukan dengan membuat cadangan equipment dengan cara mengubah rangkaian yang disusun secara seri menjadi paralel. Sehingga jika terjadi kerusakan pada subsistem 3 tidak menyebabkan keseluruhan system gagal. Selain itu berdasarkan table RS FCI, 3 equipment teratas yang memiliki nilai MTBF yang rendah adalah MPM C, MPM B, dan PPM A dengan nilai MTBF 740.42 jam, 862.57 jam, dan 949.12 jam dan nilai MDT tertinggi untuk 3 equipment teratas yaitu SIN, PPM B, dan PPM A adalah 3.61 jam, 1.53 jam, dan 1.28 jam.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut

1. Konfigurasi equipment dalam sistem persinyalan SSI terdiri dari dua jenis yaitu seri dan campuran. Hal ini berdasarkan functional failure dari masing-masing equipment yang terdapat dalam sistem persinyalan SSI.
2. Pemodelan Reliability Block diagram terdiri dari 4 subsistem yaitu proses control sinyal, identifikasi sinyal, pemilihan sinyal, dan pengolahan sinyal.
3. Berdasarkan hasil perhitungan reliability, waktu yang dibutuhkan ketika nilai reliability system mendekati 0% adalah 1510 jam. Selain itu berdasarkan hasil simulasi, nilai availability sistem adalah 99.46% untuk inherent availability dan 99.45% untuk operational availability. Persentase maintainability sistem ketika sistem diperbaiki dalam waktu 1 jam adalah 69.86% dan persentase yang dihasilkan ketika sistem diperbaiki dalam waktu 12 jam adalah 100%.
4. Equipment yang memiliki persentase RS FCI tertinggi adalah MPM C, MPM B, PPM A, MPM A, dan PPM B.
5. Equipment yang memiliki persentase RS DTICI tertinggi adalah SIN, PPM A, PPM B, MPM A, dan MPM B.

5.2 Saran

- Saran untuk perusahaan
 1. Perusahaan sebaiknya melakukan pencatatan yang lebih lengkap ketika terjadi gangguan pada sistem persinyalan SSI.
 2. Perusahaan sebaiknya langsung memperbaiki equipment ketika terjadi gangguan sehingga down time yang terjadi tidak terlalu lama.
 3. Perusahaan sebaiknya lebih menggiatkan preventive maintenance dibandingkan dengan corrective maintenance yang merupakan sebagai bentuk pencegahan terjadinya kerusakan equipment
- Saran untuk penelitian selanjutnya
 1. Penelitian yang dilakukan hanya menggunakan RAM Analysis saja tanpa melakukan perhitungan biaya, sehingga diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat menambahkan cost of unreliability.
 2. Blocksim 9 dapat digunakan bersama dengan Weibull++, XFMEA, dan RCM++, sehingga dapat dilakukan penelitian dengan level seluruh perusahaan.

Referensi

- [1] Anon., 2000. Markov Modelling. In: Applied R&M Manual for Defence Systems Part C - R&m Related Techniques. s.l.:s.n., pp. 1-18.
- [2] Anon., 2003. The Applicability of Markov Analysis Methods to Reliability, Maintainability, and Safety. *Selected Topics in Assurance Related Technologies*, Volume 10, pp. 1-8.
- [3] Anon., n.d. *Badan Pusat Statistik*. [Online] Available at: http://www.bps.go.id/tab_sub/view.php?tabel=1&daftar=1&id_subyek=17¬ab=16 [Accessed 9 Desember 2014].
- [4] Arsanto, R., 2012. *Reliability Leading - Lagging Indicator in PT. Badak NGL*. s.l.:Arsymposium.
- Dwiatmoko, H., 2013. *Peran Prasarana dalam Peningkatan Keselamatan Perkeretaapian Keselamatan Fasilitas Operasi Kereta Api*. Pertama ed. Jakarta: Kencana.
- [5] Ebeling, C. E., 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: The McGraw-Hill Companies.

- [6] Ebrahimi, A., 2010. *Effect Analysis of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) Parameters in Design and Operation of Dynamic Positioning (DP) System in Floating Offshore Structures*. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology: s.n.
- [7] Eko Sasmito H, U. B., 2008. Analisa Keandalan Sistem Bahan Bakar Motor Induk Pada Km. Leuser. *Kapal*, Volume 5, pp. 123-135.
- [8] Jo, J.-g. H. a. H.-J., 2008. RAMS Management and Assessment of Railway Signalling System through RAM and Safety Activities. *International Conference on Control, Automation and System*, pp. 892-895.
- [9] Kurniawan, F., 2013. *Manajemen Perawatan Industri*. Pertama ed. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [10] Lindsey R, M. R. K. H., 2002. *Maintenance Engineering Handbook*. Sixth Edition ed. s.l.:McGraw-Hill.
- [11] Matsuoka, T., 2013. A Monte Carlo Simulation Method for System Reliability Analysis. *Nuclear Safety and Simulation*, Volume 4, pp. 44-51.
- [12] Moubray, J., 1991. *Reliability Centered Maintenance*. Oxford: Jordan Hill.
- [13] ReliaSoft Corporation, 2014. *BlockSim 9 Quick Start Guide*. Arizona: ReliaSoft Publishing.
- Stapelberg, R. F., 2009. *Handbook of Reliability, Availability, Maintainability and Safety in Engineering Design*. Queensland: Springer.