

EVALUASI PENGARUH CUACA TERHADAP KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI

Wahri Sunanda¹

¹⁾ Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Bangka Belitung
Email : wahrisunanda@ubb.ac.id

Abstract - System distribution has used 13 of loads with source of generation from substation. It will be simulated on EDSA Technical 2005 in bad weather that occur in system during one month. Probability of bad weather occurrence is 8,33%/year with failure rate almost twice than normal condition, about 2000%. The result shows that weather contributes significant influence for reliability of distribution system although the bad weather happened in short time.

Keyword : failure rate, reliability, distribution system.

I. Pendahuluan

Dewasa ini energi listrik sudah menjadi salah satu kebutuhan pokok manusia modern. Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat vital bagi perkembangan suatu negara. Perkembangan sistem tenaga listrik yang baik merupakan kunci kemajuan teknologi untuk kelangsungan perbaikan taraf hidup manusia. Penyediaan energi listrik dilakukan oleh suatu sistem tenaga listrik yang meliputi sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi. Untuk menjamin kontinuitas pelayanan energi listrik diperlukan suatu tingkat keandalan yang tinggi pada ketiga unsur sistem tenaga listrik tersebut.

Sebagai satu-satunya perusahaan penyedia energi listrik bagi masyarakat, PT. PLN tentunya akan selalu berusaha meningkatkan keandalan sistemnya sehingga kontinuitas dan kualitas pelayanan energi listrik dapat tercapai. Dan berfokus pada keefektifan dan keefisienan sistem distribusi salah satunya adalah studi

mengenai keandalan sistem distribusi tenaga listrik.

Penelitian ini merupakan suatu studi tentang hal yang dapat mempengaruhi tingkat keandalan serta upaya peningkatan keandalan sistem pada sistem distribusi dalam untuk menaikkan tingkat keandalan ke arah yang lebih baik. Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah mengevaluasi pengaruh cuaca terhadap tingkat keandalan sistem distribusi.

Data keandalan komponen diperoleh dari data standar IEEE, data pada modul *library* perangkat lunak EDSA Technical 2005 dan data-data dari standar-standar literatur dan referensi. Evaluasi dan analisis menggunakan perangkat lunak *EDSA Technical 2005*.

1.1 Konsep Dasar Keandalan

Ditinjau dari sisi sistem tenaga listrik, keandalan berarti kemampuan dari suatu sistem atau komponen transmisi dan tenaga listrik untuk menyediakan layanan prima kepada pelanggan dalam situasi normal maupun mengalami tekanan. Frekuensi, durasi, dan besaran dari dampak yang merugikan pada suplai listrik dapat menjadi ukuran dari keandalan.

Dari tinjauan secara umum, keandalan adalah probabilitas suatu alat atau sistem bekerja dengan memadai untuk periode waktu yang diharapkan dalam kondisi-kondisi operasi yang dihadapinya [1]. Definisi keandalan ini dapat dipecah lagi menjadi empat bagian dasar, yaitu probabilitas, unjuk kerja yang memadai, waktu, dan kondisi-kondisi operasi [2].

Probabilitas memberikan masukan berupa angka (numeris) untuk penaksiran keandalan dan adalah indeks pertama

kecukupan sistem (*system adequacy*). Di dalam praktek, masih ada indeks lain yang digunakan untuk menaksir keandalan sistem selain indeks probabilitas semata, dimana penggunaan indeks ini tergantung kepada sistem dan kebutuhannya. Semua indeks kemudian disebut dengan satu istilah umum yaitu indeks-indeks keandalan. Indeks keandalan yang paling cocok digunakan adalah indeks yang dapat mewakili suatu sistem dengan tepat. Beberapa indeks keandalan lainnya selain probabilitas antara lain:

- 1.) Jumlah kegagalan yang diharapkan akan terjadi dalam suatu periode waktu tertentu,
- 2.) Waktu rata-rata antara kegagalan,
- 3.) Durasi pemadaman (*outage*) rata-rata atau *down time* dari suatu alat atau sistem,
- 4.) Rugi *output* yang diharapkan akibat kegagalan,
- 5.) Rugi/hilangnya pendapatan yang diharapkan akibat kegagalan.

1.2 Fungsi Keandalan Secara Umum

Misalkan diadakan pengujian komponen yang identik sebanyak N_o , dan

$$N_s(t) + N_f(t) = N_o \quad (1.1)$$

dimana $N_s(t)$ = jumlah yang bertahan pada saat t , dan $N_f(t)$ = jumlah yang gagal sampai saat t .

Pada setiap waktu t , *survivor function* atau fungsi keandalan $R(t)$ adalah

$$\begin{aligned} R(t) &= \frac{N_s(t)}{N_o} = \frac{N_o - N_f(t)}{N_o} \\ &= 1 - \frac{N_f(t)}{N_o} \end{aligned} \quad (1.2)$$

$R(t)$ menyatakan probabilitas bahwa komponen itu akan hidup lebih lama dari t . Probabilitas kegagalan atau distribusi kegagalan kumulatif $Q(t)$, yang bisa juga dilambangkan dengan $F(t)$, adalah

$$Q(t) = \frac{N_f(t)}{N_o} \quad (1.3)$$

$Q(t)$ menyatakan probabilitas bahwa komponen itu masih akan hidup paling lama sampai waktu t .

Dari Persamaan (1.2) dan (1.3)

$$\frac{dR(t)}{dt} = \frac{-dQ(t)}{dt} = \frac{-1}{N_o} \cdot \frac{dN_f(t)}{dt} \quad (1.4)$$

Dengan $dt \rightarrow 0$, Persamaan menjadi

$$f(t) = \frac{1}{N_o} \cdot \frac{dN_f(t)}{dt} \quad (1.5)$$

Persamaan di atas memberikan nilai *hazard rate* ketika jumlah komponen yang diteliti kegagalannya adalah N_o , yaitu saat $t = 0$. Oleh karena itu, fungsi kerapatan kegagalan dan *hazard rate* identik saat $t=0$ tetapi hanya pada saat tersebut.

Ungkapan umum untuk *hazard rate* saat waktu t adalah

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= \frac{1}{N_s(t)} \cdot \frac{dN_f(t)}{dt} \\ (1.12) \\ &= \frac{N_o}{N_o} \cdot \frac{1}{N_s(t)} \cdot \frac{dN_f(t)}{dt} \\ &= \frac{N_o}{N_s(t)} \cdot \frac{1}{N_o} \cdot \frac{dN_f(t)}{dt} \\ &= \frac{1}{R(t)} \cdot f(t) \\ &= \frac{f(t)}{R(t)} \end{aligned} \quad (1.6)$$

yang berarti jumlah yang gagal per satuan waktu relatif terhadap yang masih hidup. Apabila dikaitkan dengan persamaan 1.2, memberikan persamaan

$$\lambda(t) = - \frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt} \quad (1.7)$$

dan kemudian didapat

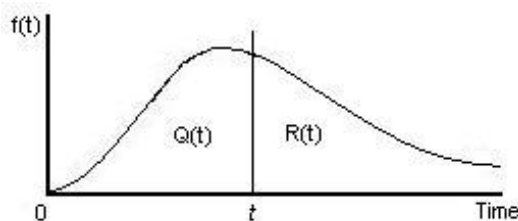
$$\begin{aligned} \int_1^{R(t)} \frac{1}{R(t)} \cdot dR(t) &= \int_0^t -\lambda(t) dt \\ \ln R(t) &= \int_0^t -\lambda(t) dt \\ R(t) &= \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right] \end{aligned} \quad (1.8)$$

Apabila λ konstan dan tidak tergantung waktu, Persamaan 1.8 disederhanakan menjadi

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1.9)$$

yang disebut distribusi eksponensial.

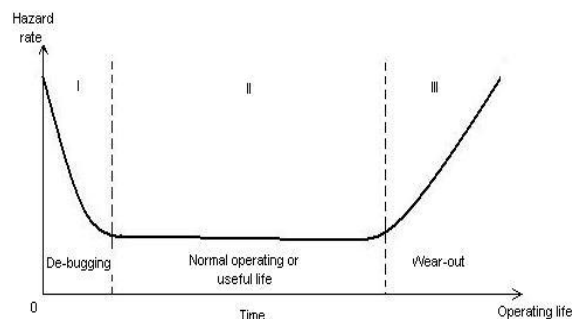
Hubungan antara *survivor function* -- fungsi keandalan -- $R(t)$, fungsi distribusi kumulatif $Q(t)$, dan fungsi kerapatan kegagalan $f(t)$ dapat dilihat dari gambar berikut.



Gambar 1. Kurva $f(t)$ dan kaitannya dengan $Q(t)$ dan $R(t)$

Fungsi *failure rate* $\lambda(t)$ tidak dapat digambarkan pada kurva $f(t)$ karena merupakan hasil bagi dari fungsi kerapatan kegagalan $f(t)$ terhadap fungsi keandalan $R(t)$. Bentuk tipikal kurva $\lambda(t)$ dapat diungkapkan sebagai berikut.

1. Mula-mula menurun (fase *de-bugging*, di daerah I).
2. Kemudian hampir datar (fase *normal operating* atau *useful life*, di daerah II).
3. Akhirnya menanjak (fase *wear-out*, di daerah III).



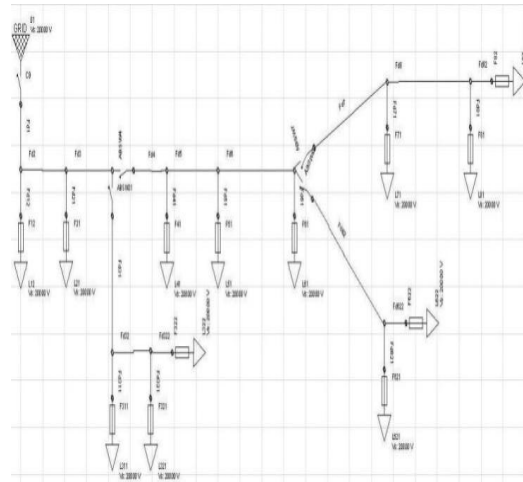
Gambar 2. Bentuk umum kurva *failure rate*

Di samping keempat fungsi tersebut, masih ada umur rata-rata (*mean life*) atau *mean time to failure* (MTTF) untuk merumuskan

hukum-hukum tentang kegagalan komponen.

II. Metodologi Penelitian

Di dalam penelitian ini digunakan suatu model jaringan distribusi yang memiliki 13 titik beban. Sumber dianggap sebagai keluaran dari sebuah gardu induk. Untuk lebih jelasnya digambarkan dalam diagram segaris pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram segaris model jaringan distribusi

2.1 Komponen Penyusun Sistem Distribusi

Suatu sistem distribusi tenaga listrik akan terdiri dari beberapa komponen penyusun, diantaranya trafo, pemutus (*circuit breaker*), penyulang (*feeder*), dan sekering, yang akan mendistribusikan energi listrik ke titik-titik beban, dalam hal ini berupa trafo distribusi[3]. Dilihat dari data keandalannya, komponen penyusun jaringan distribusi pada gambar 3 dapat dilihat pada tabel 1 yang sebagian data keandalan diatas diperoleh dari hasil survei IEEE terhadap keandalan berbagai komponen dan sebagian lainnya berdasarkan literatur-literatur yang ada dan pengamatan langsung terhadap kondisi lapangan.

2.2 Skenario Pengaruh Cuaca terhadap Tingkat Keandalan

Keandalan sistem juga tidak bisa dilepaskan dari pengaruh cuaca yang terjadi. Di Indonesia, cuaca yang tidak bersahabat umumnya terjadi saat musim penghujan. Saat musim penghujan biasanya terjadi angin yang cukup kencang sehingga memungkinkan komponen-komponen terutama penghantar untuk saling bersinggungan sehingga dapat terjadi hubung singkat antar fase ataupun ketiga fase sekaligus. Dalam kasus yang lebih buruk, dapat juga terjadi penghantar putus karena badai hebat sehingga terjadi hubung singkat ke tanah. Turunnya hujan juga memungkinkan air untuk menjadi media loncatnya busur api.

Pada perangkat lunak *EDSA Technical* 2005 akan disimulasikan terjadinya kondisi cuaca buruk yang akan mempengaruhi sistem. Pada skenario ini akan dianggap terjadinya kondisi cuaca buruk tersebut terjadi selama satu bulan dalam setahun sehingga kemungkinan terjadinya adalah 8,33% per tahun dengan tingkat *failure rate* saat cuaca buruk terjadi adalah 2000% atau dua puluh kali lipat dari kondisi normal. Untuk mengetahui data keandalan saat terjadi cuaca buruk dapat dilihat pada tabel 2.2 .

III. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pemodelan Sistem

Model Sistem distribusi tenaga listrik berjenis jaringan radial sebagaimana diperlihatkan Gambar 2.1. Daya listrik dicatu pada tegangan 20 kV hasil keluaran transformator dari gardu induk, kemudian melalui *circuit breaker* (CB) utama 20 kV dan pada akhirnya tenaga listrik didistribusikan melalui jaringan dan dikonsumsi oleh beban-beban listrik. Sistem distribusi tenaga listrik ini adalah sistem seri karena berjenis jaringan radial. Komponen-komponen penyusun sistem, dari komponen sumber hingga titik beban tertentu, tersusun secara seri, dimana semua komponen harus bekerja agar sistem

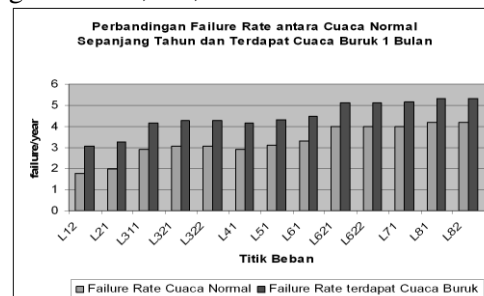
dikatakan sukses atau cukup satu yang tidak bekerja (gagal) agar sistem dikatakan gagal.

Sistem akan dimodelkan beberapa kali untuk mengetahui perubahan-perubahan yang mempengaruhi tingkat keandalan [4] serta pemodelan sistem saat sebuah titik beban menggunakan *feeder express*, dan pemodelan sistem saat sebuah titik beban menggunakan *embedded generator*. Masing-masing kondisi akan dieksekusi dengan perangkat lunak *EDSA Technical* 2005 kemudian dibandingkan tingkat keandalannya melalui keluaran indeks-indeks keandalannya.

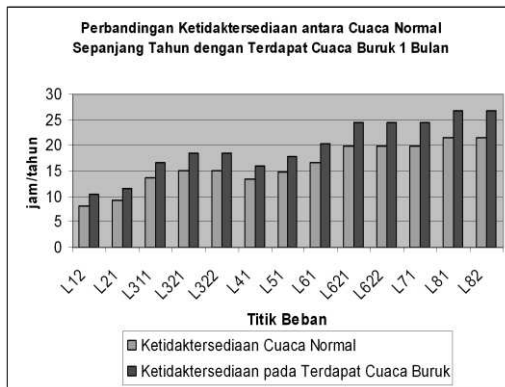
3.2 Simulasi dan Analisis Keandalan dengan Adanya Pengaruh Cuaca

Semua jaringan tenaga listrik akan terpapar oleh bervariasinya kondisi cuaca yang terjadi. Dari pengalaman yang ada diketahui bahwa cuaca memiliki pengaruh terhadap nilai *failure rate* komponen. Dalam beberapa kondisi yang sangat buruk, *failure rate* dari komponen dapat meningkat hingga jauh beberapa kali lebih tinggi daripada kondisi operasi normal. Namun umumnya kondisi ini terjadi dengan frekuensi yang jarang dan dalam periode yang singkat.

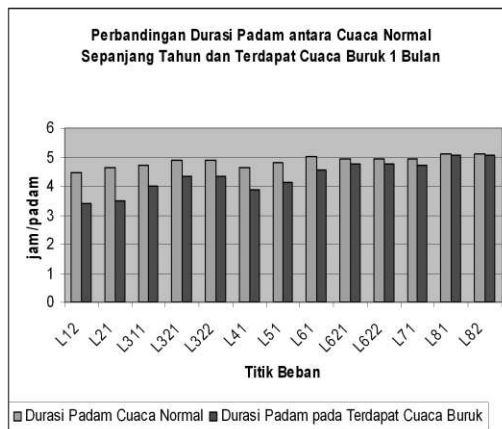
Dalam simulasi ini diskenariokan terjadi cuaca buruk selama sebulan dengan peningkatan *failure rate* komponen sebesar 20 kali lipatnya. Hasil simulasi menggunakan perangkat lunak *EDSA Technical* 2005 dapat dilihat pada tabel 3.1 Untuk lebih mudahnya maka akan disajikan dalam bentuk diagram batang seperti pada gambar 3.1, 3.2, dan 3.3 berikut



Gambar 3.1 Perubahan nilai *failure rate* titik beban dengan adanya kondisi cuaca buruk



Gambar 3.2 Perubahan nilai ketidaktersediaan titik beban dengan adanya kondisi cuaca buruk



Gambar 3.3 Perubahan nilai durasi padam titik beban dengan adanya kondisi cuaca buruk

Dari grafik diatas terlihat bahwa terjadi perubahan indeks keandalan di tiap titik beban dengan perubahan rata-rata indeks *failure rate* tiap titik beban sebesar 1,20288. Adapun perubahan rata-rata indeks ketidaktersediaan tiap titik beban sebesar 3,77031 sedangkan perubahan rata-rata durasi padam tiap titik beban adalah - 0,51508. Perlu diperhatikan bahwa kondisi cuaca buruk terjadi selama sebulan penuh, yang dapat berupa terkumpul (*lumped*)

ataupun tersebar dengan total waktu yang sama.

IV. Kesimpulan

Dari hasil penelitian, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Analisis keandalan di sistem distribusi perlu dilakukan terutama pada saat perencanaan pembuatan jaringan baru agar diketahui tingkat keandalan di masing-masing titik beban untuk kemudian disesuaikan dengan jenis, kebutuhan, dan permintaan pelanggan.
2. Pengaruh cuaca dapat mengakibatkan berubahnya tingkat keandalan di sistem distribusi walaupun hanya terjadi dalam waktu singkat namun terjadi peningkatan *failure rate* komponen yang cukup tinggi sehingga tetap perlu dipertimbangkan.

Daftar Pustaka

- [1] Endrenyi, J., "Reliability Modeling In Electric Power Systems", John Wiley & Sons, New York, 1978.
- [2] Sulasno, Ir., "Teknik dan Sistem Distribusi Tenaga Listrik", Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang, 2001.
- [3] Gonen, T., 1986. *Modern Power System Analysis*, Jhon Wiley & Sons, New York.
- [4] Marsudi, Djiteng., 2006, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Graha Ilmu, Yogyakarta.

Tabel 1. Data keandalan komponen

No.	Kode	Komponen	Ket	Failure Rate (gagal/thn)		Durasi Perbaikan (jam)	Durasi Switching (jam)	Banyaknya Perawatan (kali/thn)	Durasi Perawatan (jam)
				Aktif	Pasif				
1	01	Power Supply							
2	CB	Circuit Breaker		0,0052	0,00676	4,5		0,25	5
3	Fd1	Feeder	2 Km	0,0492	0,01476	8		0,2	6
4	Fd12	Feeder	500 m	0,0123	0,00369	8	8	0,2	6
5	F12	Sekering		0,0019	0,00665	1	1		
6	L12	Beban		0,0041	0,00041	2	2	0,5	6
7	Fd2	Feeder	1 Km	0,0246	0,00738	8	8	0,2	6
8	Fd21	Feeder	500 m	0,0123	0,00369	8	8	0,2	6
9	F21	Sekering		0,0019	0,00665	1	1		
10	L21	Beban		0,0041	0,00041	2	2	0,5	6
11	Fd3	Feeder	1 Km	0,0246	0,00738	8	8	0,2	6
12	ABS W31	Disconnect or		0,0029	0,00725	3	3	0,5	3
13	Fd31	Feeder	2 Km	0,0492	0,01476	8	0,25	0,2	6
14	Fd311	Feeder	500 m	0,0123	0,00369	8	0,25	0,2	6
15	F311	Sekering		0,0019	0,00665	1	0,25		
16	L311	Beban		0,0041	0,00041	2	0,25	0,5	6
17	Fd32	Feeder	1 Km	0,0246	0,00738	8	0,25	0,2	6
18	Fd321	Feeder	500 m	0,0123	0,00369	8	0,25	0,2	6
19	F321	Sekering		0,0019	0,00665	1	0,25		
20	L321	Beban		0,0041	0,00041	2	0,25	0,5	6
21	Fd322	Feeder	500 m	0,0123	0,00369	8	0,25	0,2	6
22	F322	Sekering		0,0019	0,00665	1	0,25		
23	L322	Beban		0,0041	0,00041	2	0,25	0,5	6
24	ABS W4	Disconnect or		0,0029	0,00725	3	3	0,5	3
25	Fd4	Feeder	1 Km	0,0246	0,00738	8	0,25	0,2	6
26	Fd41	Feeder	500 m	0,0123	0,00369	8	0,25	0,2	6
27	F41	Sekering		0,0019	0,00665	1	0,25		
28	L41	Beban		0,0041	0,00041	2	0,25	0,5	6
29	Fd5	Feeder	1 Km	0,0246	0,00738	8	0,25	0,2	6
30	Fd51	Feeder	500 m	0,0123	0,00369	8	0,25	0,2	6
31	F51	Sekering		0,0019	0,00665	1	0,25		
32	L51	Beban		0,0041	0,00041	2	0,25	0,5	6
33	Fd6	Feeder	2 Km	0,0492	0,01476	8	0,25	0,2	6
34	Fd61	Feeder	500 m	0,0123	0,00369	8	0,25	0,2	6
35	F61	Sekering		0,0019	0,00665	1	0,25		
36	L61	Beban		0,0041	0,00041	2	0,25	0,5	6
37	ABS W62	Disconnect or		0,0029	0,00725	3	0,25	0,5	3
38	Fd62	Feeder	2 Km	0,0492	0,01476	8	0,25	0,2	6
39	Fd621	Feeder	500 m	0,0123	0,00369	8	0,25	0,2	6
40	F621	Sekering		0,0019	0,00665	1	0,25		

41	L621	Beban		0,0041	0,00041	2	0,25	0,5	6
42	Fd622	Feeder	500 m	0,0123	0,00369	8	0,25	0,2	6
43	F622	Sekering		0,0019	0,00665	1	0,25		
44	L622	Beban		0,0041	0,00041	2	0,25	0,5	6
45	ABS W7	Disconnect or		0,0029	0,00725	3	0,25	0,5	3
46	Fd7	Feeder	2 Km	0,0492	0,01476	8	0,25	0,2	6
47	Fd71	Feeder	500 m	0,0123	0,00369	8	0,25	0,2	6
48	F71	Sekering		0,0019	0,00665	1	0,25		
49	L71	Beban		0,0041	0,00041	2	0,25	0,5	6
50	Fd8	Feeder	2 Km	0,0492	0,01476	8	0,25	0,2	6
51	Fd81	Feeder	500 m	0,0123	0,00369	8	0,25	0,2	6
52	F81	Sekering		0,0019	0,00665	1	0,25		
53	L81	Beban		0,0041	0,00041	2	0,25	0,5	6
54	Fd82	Feeder	500 m	0,0123	0,00369	8	0,25	0,2	6
55	F82	Sekering		0,0019	0,00665	1	0,25		
56	L82	Beban		0,0041	0,00041	2	0,25	0,5	6

Tabel 2. Perbandingan indeks-indeks keandalan tiap titik beban dengan adanya pengaruh cuaca

No	Titik Beban	Indeks	Cuaca Normal	Terjadi Cuaca Buruk Sebulan
1	L12	λ (padam/tahun)	1,78317	3,07754
		r (jam/padam)	4,4783251176276	3,4009301260097
		U (jam/tahun)	7,985615	10,4664985
2	L21	λ (padam/tahun)	1,97825	3,260636
		r (jam/padam)	4,6234070516871	3,5059269111916
		U (jam/tahun)	9,146255	11,4315515
3	L311	λ (padam/tahun)	2,89534	4,149663
		r (jam/padam)	4,7052677751145	4,0195380323655
		U (jam/tahun)	13,62335	16,67972825
4	L321	λ (padam/tahun)	3,07812	4,2806
		r (jam/padam)	4,8948351591231	4,3224234920338
		U (jam/tahun)	15,06689	18,502566
5	L322	λ (padam/tahun)	3,07812	4,2806
		r (jam/padam)	4,8948351591231	4,3224234920338
		U (jam/tahun)	15,06689	18,502566
6	L41	λ (padam/tahun)	2,88796	4,142898
		r (jam/padam)	4,6308328370199	3,8711852790004
		U (jam/tahun)	13,37366	16,03792575
7	L51	λ (padam/tahun)	3,08304	4,311749
		r (jam/padam)	4,8070329934091	4,1445459835440
		U (jam/tahun)	14,820275	17,870242

8	L61	λ (padam/tahun)	3,2855	4,487365
		r (jam/padam)	5,0271130725917	4,5336986739434
		U (jam/tahun)	16,51658	20,34436075
9	L621	λ (padam/tahun)	3,98291	5,131713
		r (jam/padam)	4,9560585099839	4,7513863304514
		U (jam/tahun)	19,739535	24,382751
10	L622	λ (padam/tahun)	3,98291	5,131713
		r (jam/padam)	4,9560585099839	4,7513863304514
		U (jam/tahun)	19,739535	24,382751
11	L71	λ (padam/tahun)	3,99521	5,169627
		r (jam/padam)	4,9415700301111	4,7183732017803
		U (jam/tahun)	19,74261	24,3922295
12	L81	λ (padam/tahun)	4,18537	5,307329
		r (jam/padam)	5,1216117093590	5,0603363292534
		U (jam/tahun)	21,43584	26,85686975
13	L82	λ (padam/tahun)	4,18537	5,307329
		r (jam/padam)	5,1216117093590	5,0603363292534
		U (jam/tahun)	21,43584	26,85686975