

## KEHANDALAN SISTEM KONTROL *SMART GRID*

Djoko Subagio ST, MT, MSc

Program studi Teknik Produksi dan Proses Manufaktur, Politeknik Manufaktur Astra

Jl Gaya Motor Raya 8 Sunter II Jakarta 14330, Indonesia

Email : djokosubagio91@yahoo.co.id

**Abstrak--** Smart Grid adalah sistem distribusi energi listrik yang efisien dan kompleks. Sistem ini menggabungkan teknologi jaringan distribusi energi listrik, teknologi jaringan komputer dan teknologi jaringan telekomunikasi. Oleh karena itu diperlukan desain sistem yang sempurna dan tahan terhadap gangguan yang disebabkan oleh infrastruktur, kerusakan, dan ancaman *hacker* atau pun teroris. Diperlukan suatu sistem dengan pusat kontrol yang kuat yang mampu mendeteksi, memonitor dan melindungi gangguan yang dapat mengakibatkan pemadaman total atau pencurian energi listrik serta dapat juga mengatur proses jual beli energi dari dan ke pelanggan.

Para ahli teknik daya telah merancang konsep pusat kontrol yang mendukung kebutuhan itu yaitu dengan WAMS dan WAPS. Hal ini menyebabkan para insinyur keandalan menerapkan beberapa alat manajemen risiko untuk menghitung keandalan sistem kontrol smart grid. Dalam penelitian ini akan membahas metode analisa terhadap proses dan tools metode yang digunakan.

Kinerja keandalan pusat kontrol smart grid dipengaruhi oleh ukuran sistem bus, kompleksitas, banyaknya faktor pengganggu yang disimulasikan dalam studi kasus.

**Kata kunci :** *Smart grid*, *reliability*, *availability*, SPN, Markov.

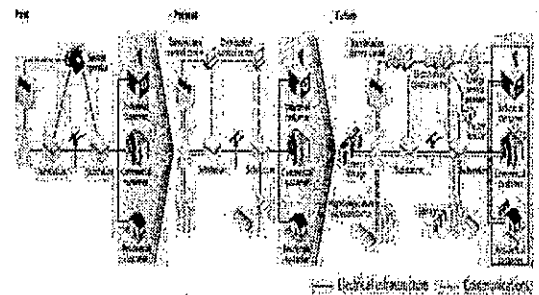
### I. PENDAHULUAN

Smart grid mengubah sistem saat ini jaringan berdasarkan manajemen searah (dari hulu ke hilir) dengan memperkenalkan manajemen yang sistematis dan terpadu multi-level dua arah. *Smart Grid* yang terbentuk dengan prioritas dari ekonomi baru listrik, yang dapat disintesis menjadi tiga nilai-guna (Sumber: Gimélec November 2010):

- Integrasi energi, aplikasi dan penggunaan energi listrik terbarukan.
- Produksi fleksibilitas, konsumsi energi, mengurangi jalur listrik.

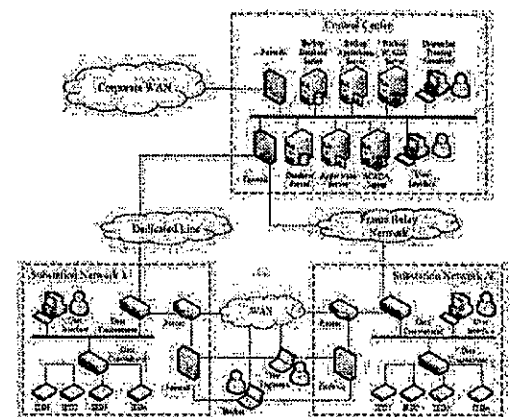
- Pengelolaan jaringan informasi, dan energi listrik dalam dua arah

Visi *smart grid* ditandai dengan kemampuannya untuk mengelola sentralisasi pembangkit energi dan terdistribusi, termasuk pembangkit listrik terbarukan untuk mengembangkan integrasi optimal dan pembangunan. Hal ini juga memungkinkan pengembangan dan integrasi sumber energi dari penyimpanan berarti, termasuk menyebar dan terdesentralisasi.



Gambar 1 *Smart Grid*  
(Source : IEA, 2012, p 6)

### II. KONSEP SISTEM KONTROL *SMART GRID*



Gambar 2 Skema dari sistem kontrol dari *smart grid*.

(Source : Zeng et al, 2012, p2)

Dengan probabilitas keadaan mantap dan transien, Zhen dkk menghitung kehandalan dan ketersediaan. Untuk kehandalan kita dapat melihat

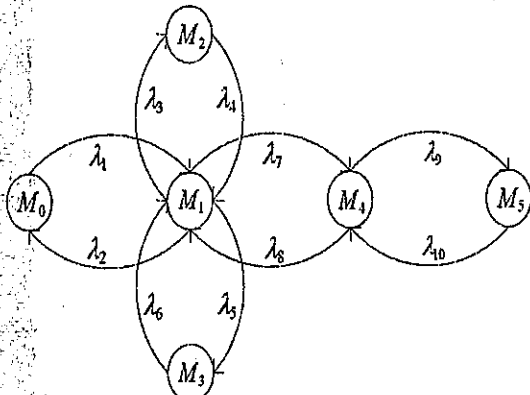
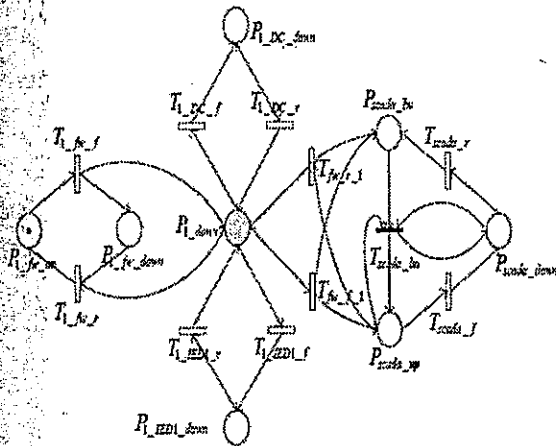
bahwa hanya keadaan awal yang disebut handal dan tingkat kehandalan sistem  $M_0$  adalah  $\lambda_1$ . Kehandalannya dapat dihitung sebagai berikut;

$$R(t) = e^{-\lambda_1 t} \quad (1)$$

Untuk ketersediaan jaringan, DC, IED dan server SCADA tidak tersedia di kondisi M2, M3, M5 dan masing-masing. Ketersediaan di kondisi mantab/steady state dapat dihitung sebagai

$$A_{va} = 1 - (a_1\pi_2 + a_2\pi_3 + a_3\pi_5), \quad (2)$$

$$A(t) = 1 - (a_1\pi_2(t) + a_2\pi_3(t) + a_3\pi_5(t)), \quad (3)$$



Gambar 3. Model SPN dan CTMC (Source : Zeng et al, 2012, p6)

dimana  $a_1, a_2$  dan  $a_3$  adalah masing-masing beban DC, IED, dan server SCADA.

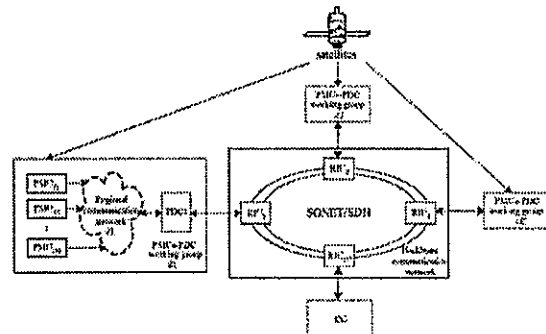
Hasil simulasi persamaan di atas dapat dipaparkan bahwa keandalan dan ketersediaan transien berkurang secara eksponensial dengan waktu  $t$ , dan hasilnya dekat keandalan steady state  $Rel = 0$  dan ketersediaan  $A_{va} = 0,9936$ .

### III. KONSEP WAMS

Sebagai infrastruktur informasi untuk monitoring, kontrol dan fungsi perlindungan dalam jaringan transmisi cerdas, sistem pengukuran luas (WAMS) berdasarkan unit pengukuran fasor

disinkronkan (PMU) secara bertahap akan menjadi jaminan penting untuk keamanan dan stabilitas sistem tenaga (Wan et al, 2010).

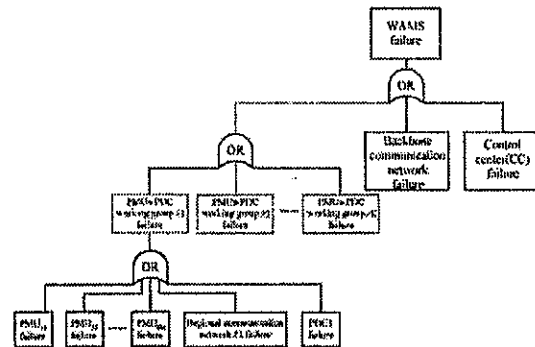
WAMS dapat digunakan untuk melakukan real-time monitoring dan kontrol, di negara bagian sistem dinamis dan meningkatkan sistem keamanan karena menggunakan jam presisi sistem sinkron dari *Global Positioning System* (GPS) untuk membangun sistem terpadu untuk ruang-waktu memerintahkan seluruh sistem. Biasanya termasuk PMU, fasor konsentrator data (PDC), kontrol pusat (CC), dan jaringan komunikasi data kecepatan tinggi (Han, 2004).



Gambar 4. Struktur WAMS. (Source : Wang et al, 2010, p1484)

### IV. PEMODELAN WAMS

Sebuah analisis keandalan seperti struktur hirarkis dapat dilakukan dengan menggunakan FTA seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Analisa FTA dari WAMS. (Source : Wang et al, 2010, p1484)

Pada tahun 2010, Wang dkk mengusulkan ketersediaan setiap PMU-PDC yang bekerja dalam WAMS dihitung dengan

$$A_i = \left( \prod_{j=1}^{M_i} A_{ij}^{PMU} \right) \cdot A_i^{RN} \cdot A_i^{PDC} \quad (4)$$

dimana  $A_i$  adalah ketersediaan  $i_{th}$  yang bekerja pada kelompok kerja PMU-PDC;  $A_{ij}^{PMU}$  adalah ketersediaan kelompok kerja /workgroup PMU  $i$  dan  $j$  PMU-PDC;  $M_i$  adalah jumlah PMU dalam kelompok ke- $i$ ;  $A_i^{RN}$  dan  $A_i^{PDC}$  adalah ketersediaan

PDC dengannilai-nilai jaringan komunikasi daerah dan perangkat ith PDC. Ketersediaan WAMS keseluruhan dapat dihitung dengan

$$A_s = \left( \prod_{i=1}^K A_i \right) \cdot A_{BN} \cdot A_{CC} \quad (5)$$

K adalah jumlah dari kelompok kerja PMU-PDC dalam WAMS.

Dengan demikian penggabungan WAMS komponen kegagalan, seperti yang diharapkan, memberikan indeks keandalan sistem yang lebih komprehensif (Aminifar et al, 2012).

Dengan demikian, titik beban utama bus, dengan persyaratan melebihi 25 MW, yang diadopsi dan indeks keandalan masing-masing yang rinci pada Tabel 1. Sebagai perbandingan, indeks kehandalan telah digunakan jumlah penumpahan beban memiliki pengaruh langsung pada indeks ini.

Tabel 1 Utama indeks keandalan sistem beban titik di studi kasus

Bus # n	PD <sub>n</sub> [MW]	EDNS <sub>n</sub> [MW]
1	55	0.0219
3	41	0.0238
6	75	0.0293
8	150	0.0588
9	121	0.0493
12	377	1.8793
16	43	0.0175
17	42	0.0184
18	27.2	0.0118
47	29.7	0.0135

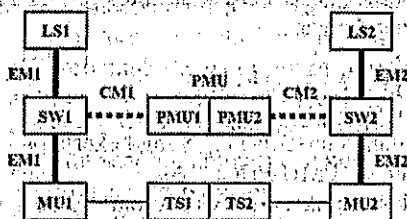
(Source : Aminifar et al., 2012, p7)

## V. WAPS

Bagian ini membahas konsep WAP dan keandalan sistem, mulai dari arsitektur sistem, pemodelan, formulasi

### V.1 SPS (Special Protection System)

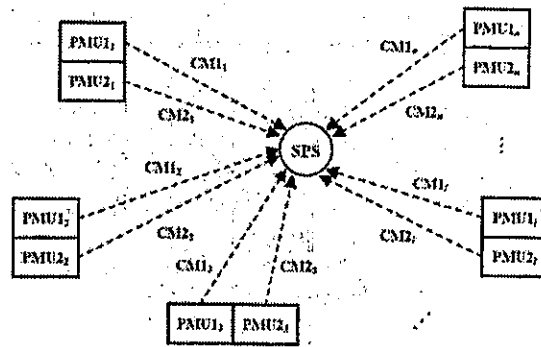
Sistem perlindungan khusus (SPS), atau skema perlindungan khusus, adalah sistem perlindungan otomatis yang dirancang untuk mendeteksi sistem abnormal atau yang telah ditentukan, dan mengambil tindakan korektif untuk menjaga keandalan sistem (NERC, 2010).



Gambar 6. Arsitektur dari semua SPS konseptual digital

(Source : Jiang et Singh, 2011, p2)

Dalam arsitektur dari Gambar 6, setiap set dapat bertindak sebagai SPS penuh secara independen dan terdiri dari pemecah logika digital (LS), sebuah Ethernet Switch (SW), Ethernet media komunikasi (EM), perangkat dari pelebur (MU), sinkronisasi sumber waktu (TS), peralatan fasor unit pengukuran (PMU), dan media komunikasi digital channel (CM) untuk PMU. Secara rinci, komponen TS1, MU1, EM1, SW1, LS1, PMU1 dan CM1 adalah seperangkat komponen SPS sementara TS2, MU2, EM2, SW2, LS2, PMU2, CM2 bentuk dan set lain (Jiang et al, 2011).



Gambar 7. Ilustrasi dari konfigurasi PMU untuk implementasi SPS

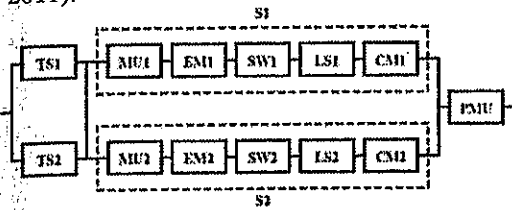
(Source : Jiang et Singh, 2011, p2)

PMU lebih disukai untuk SPS aplikasi masa depan terutama dalam kasus di mana informasi dari area yang luas diperlukan untuk menentukan logika dari SPS dan aktuasi alarm. PMU redundansi juga diperlukan karena pentingnya unik dalam pengumpulan data. Dengan demikian, dua PMU perangkat dianggap untuk setiap lokasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.15, di mana PMU1i dan PMU2i adalah cadangan bersama para anggota untuk lokasi saya. Oleh karena itu, PMU1 PMU2 dan Gambar 3.26 bukanlah dua unit individu, tetapi dua kelompok PMU permainan. Secara khusus, PMU1 adalah PMU1i perangkat kelompok (i = 1,2, L, n) dan PMU2 PMU2i perangkat kelompok (i = 1,2, L, n). Demikian pula, CM1 dan CM2 pada Gambar 3.26 juga mendukung dua kelompok saluran komunikasi digital CM1i (i = 1,2, L, n) dan CM2i (i = 1,2, L, n), masing-masing seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.15. (Jiang et al, 2011).

### V.2 Penilaian kehandalan SPS dengan metode untuk mengurangi jaringan

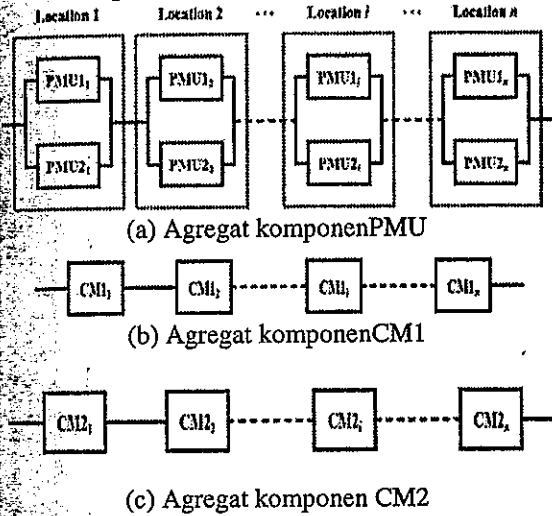
Oleh karena itu, kita bisa melacak diagram blok kehandalan dari arsitektur SPS yang diusulkan sesuai dengan hubungan fungsional komponen.

seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 (Jiang et al, 2011).



Gambar 8 Blok Diagram Blok keandalan SPS (Source : Jiang et Singh, 2011, p3)

Bahkan, PMU, CM1 dan CM2 pada Gambar 8 adalah komponen konseptual yang komprehensif, termasuk semua daerah yang diperlukan untuk pelaksanaan PMU SPS. Di bawah asumsi konfigurasi sebelumnya, desain kehandalan mereka, dapat dirinci seperti pada Gambar 9.



Gambar 9 Schéma Fiabilité des composants agrégés (Source : Jiang et Singh, 2011, p3)

Keandalan dari sistem SPS (probabilitas keberhasilan SPS) adalah

$$P_{SPS,S} = \frac{\mu_{TS}\mu_S\mu_{PMU}}{(\lambda_{TS} + \mu_{TS})(\lambda_S + \mu_S)(\lambda_{PMU} + \mu_{PMU})} \quad (6)$$

Tingkat kegagalan dari sistem SPS

$$\lambda_{SPS} = \lambda_{TS} + \lambda_S + \lambda_{PMU}$$

Tingkat frekuensi kegagalan sistem SPS adalah ;

$$f_{SPS,S} = \frac{\mu_{TS}\mu_S\mu_{PMU}(\lambda_{TS} + \lambda_S + \lambda_{PMU})}{(\lambda_{TS} + \mu_{TS})(\lambda_S + \mu_S)(\lambda_{PMU} + \mu_{PMU})} \quad (7)$$

Waktu siklus rata-rata SPS

$$MCT = \frac{1}{f_{SPS,S}} = \frac{(\lambda_{TS} + \mu_{TS})(\lambda_S + \mu_S)(\lambda_{PMU} + \mu_{PMU})}{\mu_{TS}\mu_S\mu_{PMU}(\lambda_{TS} + \lambda_S + \lambda_{PMU})} \quad (8)$$

Downtime rata-rata (MDT) dari SPS

$$MDT = \frac{(\lambda_{TS} + \mu_{TS})(\lambda_S + \mu_S)(\lambda_{PMU} + \mu_{PMU}) - \mu_{TS}\mu_S\mu_{PMU}}{\mu_{TS}\mu_S\mu_{PMU}(\lambda_{TS} + \lambda_S + \lambda_{PMU})} \quad (10)$$

Waktu berarti kegagalan (MTTF) adalah waktu yang berarti antara kegagalan sistem atau hilangnya layanan. Demi menghindari kebingungan, konsep ini kadang-kadang dinyatakan sebagai waktu yang berarti (MUT) dalam sistem pemodelan untuk memperbaiki.

$$MTTF = MUT = MCT - MDT = \frac{1}{\lambda_{SPS}} = \frac{1}{\lambda_{TS} + \lambda_S + \lambda_{PMU}} \quad (11)$$

## VI. STUDI KASUS METHODE PEMODELAN KEHANDALAN SISTEM KONTROL SMART GRID

Dari pemaparan diatas dapat dipaparkan bahwa analisa kehandalan suatu sistem kontrol sebagai besar peneliti mempunyai teknik pembahasan yang sama yaitu ;

1. Langkah Pre Analisa
2. Langkah Modelisasi
3. Langkah Formulasi
4. Langkah Studi kasus
5. Langkah analisa dan kesimpulan

Methodes atau alat yang digunakan dalam modelisasi adalah ;

1. FTA
2. RBD
3. SPN
4. Markov
5. Monte Carlo Simulation

Dalam beberapa jurnal dan buku dapat dianalisa bahwa penggunaan penyederhanaan dengan beberapa cara yang bersumber dari Teorima Markov sangat membantu dalam penyederhanaan proses pemodelan.

## VII. KESIMPULAN

Penggunaan metode yang benar dapat mempengaruhi kemudahan pemodelan dan formulasi perhitungan kehandalan suatu sistem kontrol. Hanya ada beberapa metode yang sering digunakan namun untuk penyederhanaan umumnya para peneliti menggunakan metode Markov yang sudah dimodifikasi sesuai dgn keperluan peneliti.

## KEPUSTAKAAN

- Aminifar et al, *Impact of WAMS Malfunction on Power System Reliability Assessment*, IEEE Transactions on Smart Grid, 2012.  
 Brown, Richard E., *Electric Power Distribution Reliability*, Marcek Dekker, New York, 2002.

- Chakraborty, Aranya, *Control and Optimization Methodes for Electric Smart Grids*, Springer, New York, 2012.
- Desroches Alain, *La gestion des risques, principes et pratiques*, Lavoisier, Paris, 2003.
- Fang et al, *Smart grid – The New and Improved Power Grid : A survey*, IEEE, 2011.
- Hui Dai et al, *Reliability Evaluation of communication Network in Wide-Area protection*, IEEE Transactions on Power Delivery, 2011.
- Jiang et al, *Reliability Evaluation of a Conceptual All-digital Special protection System architecture for the Future Smart Grid*, IEEE, 2011.
- LUI et al, *Reliability analysus of Wide Area Measurement System based on the Centralized Distributed model*, IEEE, 2009.
- Mortureux Y. *La sûreté de fonctionnement : méthodes pour maîtriser les risques*, Paris, 2005.
- <http://www.connaissancedesenergies.org> Réseau intelligent (*Smart Grid*).