

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

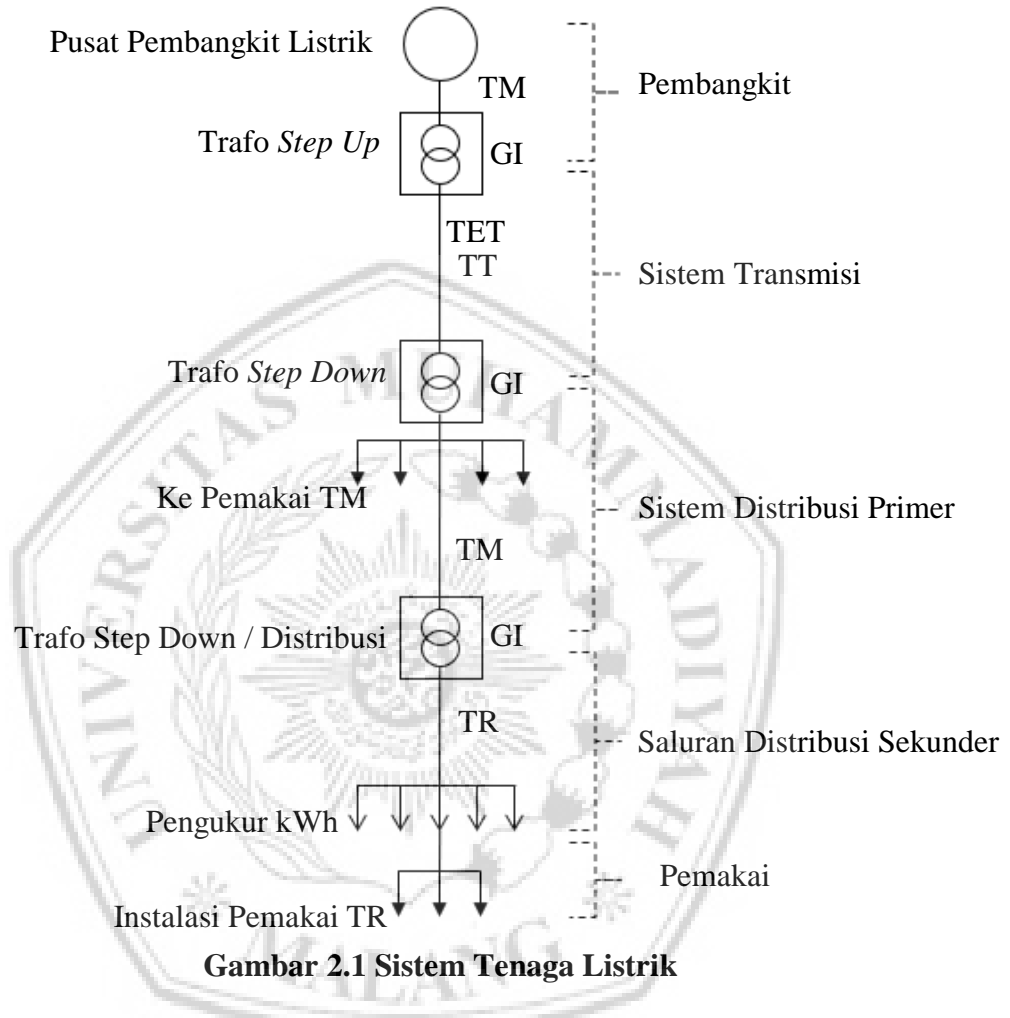
2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik pada umumnya terdiri atas empat unsur [9]. Pertama yaitu adanya unsur untuk membangkitkan tenaga listrik. Pembangkitan tenaga listrik ini dilakukan oleh pusat pembangkit listrik dengan tegangan yang dihasilkan yaitu tegangan menengah (TM). Untuk yang kedua yaitu adanya sistem transmisi dan gardu induk (GI). Perlu menggunakan tegangan tinggi (TT) atau tegangan ekstra tinggi (TET) untuk mengirim tenaga listrik karena letak pusat pembangkit listrik yang jauh dari pemakai. Ketiga yaitu adanya saluran distribusi dan gardu distribusi. Sistem distribusi terdiri dari sistem distribusi primer yang menggunakan tegangan menengah dan sistem distribusi sekunder yang menggunakan tegangan rendah (TR). Untuk yang keempat yaitu adanya unsur pemakai tenaga listrik yang meliputi instalasi industri yang memakai tegangan tinggi ataupun tegangan menengah dan instalasi rumah tangga yang memakai tegangan rendah. Gambar 2.1 menunjukkan skema sistem tenaga listrik.

Pusat pembangkit listrik menghasilkan tenaga listrik yang digunakan untuk keperluan sehari-hari. Ada beberapa pusat pembangkit listrik yaitu diantaranya PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU, PLTP, ataupun PLTN. Tenaga listrik yang dihasilkan pusat pembangkit listrik biasanya bernilai 6 kV dan 20 kV yang merupakan tegangan menengah.

Pada umumnya pusat pembangkit listrik berada jauh dari pemakai. Untuk mengirim tenaga listrik ini ke pemakai diperlukan sistem transmisi. Pada sistem transmisi, tegangan dinaikkan dari tegangan menengah ke tegangan tinggi. Menaikkan tegangan menengah menjadi tegangan ekstra tinggi diperlukan ketika jarak pembangkit dan pemakai sangat jauh. Sebelum ditransmisikan, transformator *set up* digunakan pada gardu induk untuk menaikkan tegangan. Tegangan pada sistem transmisi bernilai 70 kV sampai 500 kV. Tegangan ekstra tinggi di Indonesia adalah 500 kV sedangkan tegangan tinggi 70 kV, 150 kV, dan 275 kV.. Penggunaan tegangan tinggi

maupun tegangan ekstra tinggi dibutuhkan untuk beberapa alasan yaitu penampang penghantar yang digunakan menjadi efisien dan losses daya semakin kecil, karena ketika tegangan tinggi diterapkan maka arus yang mengalir akan menjadi lebih kecil.



Tenaga listrik dari pusat pembangkit sebelum didistribusikan ke pemakai akan melewati gardu induk. Gardu induk merupakan pusat beban pada suatu daerah, bebannya berubah-ubah setiap waktu sehingga daya yang dibangkitkan oleh pusat pembangkit listrik harus selalu berubah. Perubahan daya yang dilakukan di pusat pembangkit harus tetap mempertahankan frekuensinya pada angka 50 Hz [10]. Proses perubahan ini dikoordinasikan dengan pusat pengaturan beban. Pada gardu induk, tegangan tinggi diturunkan menjadi tegangan menengah dan menggunakan trafo *step down*. Tegangan menengah di Indonesia adalah 20 kV. Saluran 20

kV ini merupakan sistem distribusi primer yang menelusuri jalan-jalan di seluruh kota. Sistem transmisi tenaga listrik dilakukan dengan menggunakan saluran udara dengan menara transmisi sementara sistem distribusi primer di kota menggunakan kabel tanah yang tertanam di tepi jalan sehingga tidak terlihat. Hal ini untuk menjaga keindahan kota.

Mendekati persimpangan jalan biasanya terdapat gardu-gardu distribusi. Gardu distribusi mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah melalui trafo distribusi atau *step down*. Tegangan rendah disalurkan ke pemakai melalui tiang listrik di tepi jalan. Tegangan rendah di Indonesia adalah 220/380 V dan merupakan sistem distribusi sekunder. Pada tiang listrik tegangan rendah juga terpasang lampu-lampu penerangan jalan umum.

Energi listrik dari pusat pembangkit diterima pemakai dari tiang tegangan rendah melalui kawat yang dinamakan sambungan rumah dan diujung sambungan rumah terpasang alat pengukur listrik yang merupakan titik akhir kepemilikan PLN. Setelah titik ini awal dari unsur pemakai pada instalasi pemakai tenaga listrik.

2.2 Distribusi Primer

Distribusi primer adalah sistem distribusi yang menggunakan tegangan menengah. Pada distribusi primer terdapat tiga jenis sistem, yaitu:

2.2.1 Sistem Radial

Sistem radial merupakan sistem yang paling sederhana dan paling banyak dipakai, terdiri dari penyulang atau rangkaian tersendiri yang seolah-olah keluar dari suatu sumber secara radial [10]. Penyulang ini dapat juga dianggap sebagai suatu bagian utama dari saluran samping dan dihubungkan dengan transformator distribusi. Dengan demikian gangguan pada saluran samping tidak akan mengganggu seluruh penyulang. Penggunaan sistem ini biasanya pada rumah sakit yang tidak boleh mengalami gangguan yang berlangsung lama.

2.2.2 Sistem Lup

Suatu cara lain untuk mengurangi lama interupsi daya yang disebabkan gangguan adalah dengan menggunakan sistem lup dengan menyambung kedua ujung saluran [10]. Hal ini mengakibatkan suatu

pemakai dapat memperoleh pasokan energi listrik dari dua arah. Bilamana pasokan dari salah satu terganggu, pemakai itu akan disambung pada pasokan lainnya. Kapasitas cadangan yang cukup besar harus tersedia pada tiap penyulang. Sistem lup dapat dioperasikan secara terbuka ataupun tertutup.

2.2.3 Sistem Jaringan Primer

Walaupun beberapa studi memberi indikasi bahwa pada kondisi-kondisi tertentu sistem jaringan primer lebih murah dan lebih handal daripada sistem radial, secara relatif tidak banyak sistem jaringan primer yang kini dioperasikan [10]. Sistem ini terbentuk dengan menyambung saluran-saluran utama atau penyulang yang terdapat pada sistem radial sehingga membentuk suatu jaringan distribusi.

2.2.4 Sistem Spindel

Terutama di kota yang besar, terdapat suatu jenis gardu tertentu yang tidak terdapat transformator daya. Gardu demikian dinamakan gardu hubung, Gardu hubung pada umumnya menghubungkan dua atau lebih bagian jaringan primer kota [10]. Sistem spindel menghubungkan *bus* dari gardu hubung dengan *bus* dari gardu hubung lain. Sistem ini banyak dipakai di Jakarta dan kota-kota besar lainnya di Indonesia. Sistem ini memberi keandalan operasi yang cukup tinggi.

2.3 Distribusi Sekunder

Distribusi sekunder menggunakan tegangan rendah. Sebagaimana halnya dengan distribusi primer, terdapat pula pertimbangan-pertimbangan mengenai keandalan pelayanan dan regulasi tegangan. Secara umum distribusi sekunder terdiri atas empat jenis:

2.3.1 Pelayanan Dengan Transformator Tersendiri

Pelayanan dengan transformator tersendiri dilakukan untuk konsumen yang agak besar atau konsumen yang terletak agak berjauhan terutama di daerah luar kota, sehingga saluran tegangan rendahnya akan menjadi terlampau panjang [10].

2.3.2 Penggunaan Satu Transformator Untuk Sejumlah Pemakai

Sistem ini paling banyak dipakai untuk melayani sejumlah pemakai dengan saluran tegangan rendah. Sistem ini memperhatikan beban dan keperluan pemakai yang berbeda-beda sifatnya [10].

2.3.3 Bangking Sekunder

Sistem yang menggunakan banking sekunder tidak begitu banyak dipakai. Antara transformator dan saluran sekunder biasanya terdapat sekring atau saklar daya otomatis untuk melepaskan transformator dari saluran tegangan rendah jika terjadi gangguan [10]. Kelebihan sistem ini dianggap dapat memberikan pelayanan yang tidak terganggu dalam waktu yang lama. Disisi lain jika salah satu transformator terganggu, beban tambahan yang harus dipikul transformator-transformator lain dapat mengakibatkan banyak transformator ikut terganggu.

2.3.4 Jaringan Sekunder

Sistem jaringan sekunder memberikan taraf keandalan pada jaringan tegangan rendah di daerah dengan kepadatan beban yang tinggi. Sehingga biayanya yang tinggi dapat dipertanggungjawabkan dan tingkat keandalan ini diperlukan [10]. Pada umumnya, jaringan sekunder terjadi dengan menghubungkan semua sisi tegangan rendah dari gardu-gardu transformator yang diisi oleh dua atau lebih penyulang tegangan menengah. Pada sisi tegangan rendah gardu distribusi terdapat saklar daya yang dioperasikan secara otomatis dan dikenal dengan nama proteksi otomatis.

2.4 Short Circuit

Short circuit atau hubung singkat adalah suatu gangguan dalam sistem tenaga listrik yang menyebabkan aliran arus menjadi tidak normal. *Short circuit* akan mengakibatkan nilai arus menjadi besar dan nilai tegangan menjadi kecil. Berdasarkan gangguannya, short circuit dibagi menjadi dua yaitu simetris dan asimetris. Semua hubung singkat berdasarkan gangguannya, dihitung menggunakan rumus dasar yaitu

$$I = \frac{V}{Z} \quad (2-1)$$

Perbedaan gangguan simetris dan asimetris baik itu satu fasa, dua fasa, dan tiga fasa ke tanah ialah impedansi yang terbentuk sesuai dengan gangguan itu sendiri dan tegangan yang mensuplai arus ke titik gangguan tersebut. Impedansi yang terbentuk ditulis sebagai persamaan berikut:

$$Z \text{ untuk gangguan satu fasa } Z = Z_1 + Z_2 + Z_0 \quad (2-2)$$

$$Z \text{ untuk gangguan dua fasa } Z = Z_1 + Z_2$$

$$Z \text{ untuk gangguan tiga fasa } Z = Z_1$$

Keterangan persamaan:

I = Arus (A)

V = Tegangan (V)

Z = Impedansi total dari sumber sampai titik gangguan (Ω)

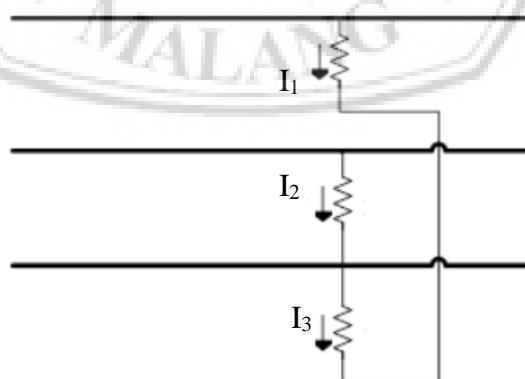
Z_1 = Impedansi urutan positif (Ω)

Z_2 = Impedansi urutan negatif (Ω)

Z_0 = Impedansi urutan nol (Ω)

2.4.1 Gangguan Simetris

Gangguan simetris adalah gangguan yang terjadi pada semua fasanya yang menyebabkan arus dan tegangan pada masing-masing fasa tetap bernilai seimbang. Gangguan simetris dibagi menjadi dua yaitu gangguan tiga fasa dan gangguan tiga fasa ke tanah. Gangguan tiga fasa ialah gangguan yang terjadi saat ketiga fasanya saling terhubung. Gangguan tiga fasa ke tanah ialah gangguan yang terjadi saat ketiga fasanya terhubung ke tanah.

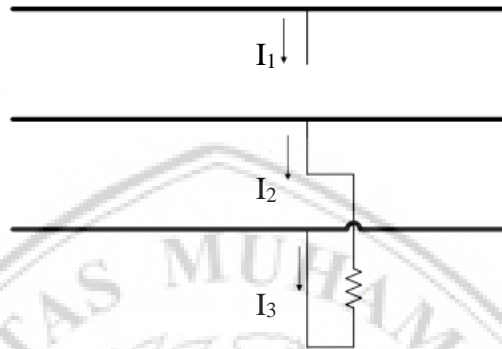


Gambar 2.2 Gangguan Tiga Fasa [11]

2.4.2 Gangguan Asimetri

Gangguan asimetris adalah gangguan yang menyebabkan arus dan tegangan pada masing-masing fasa menjadi tidak seimbang. Gangguan

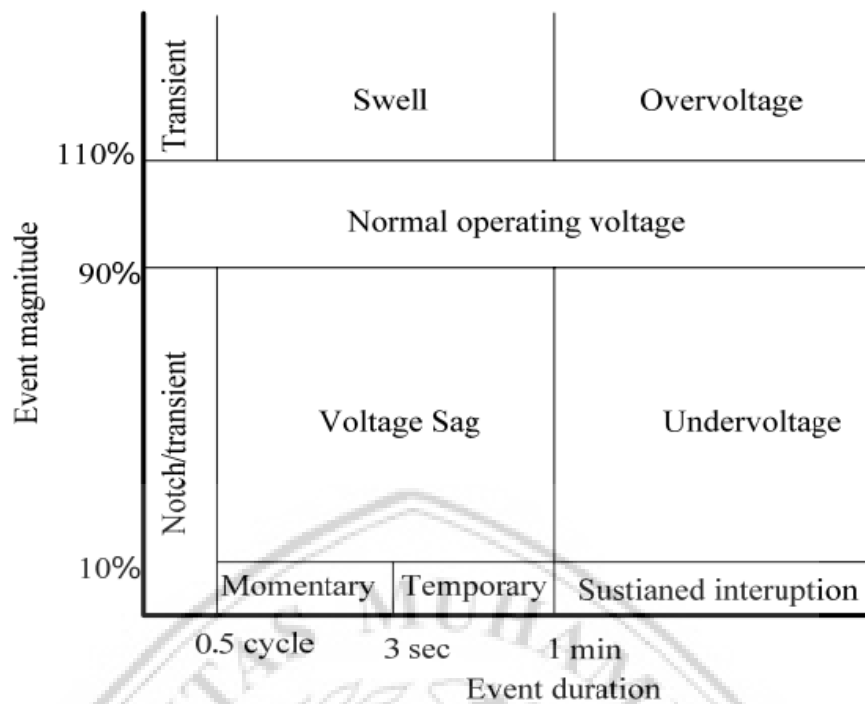
asimetris dibagi menjadi tiga yaitu gangguan satu fasa ke tanah, gangguan dua fasa, dan gangguan dua fasa ke tanah. Gangguan satu fasa ke tanah ialah gangguan yang terjadi saat salah satu fasa terhubung ke tanah. Gangguan dua fasa ialah gangguan yang terjadi saat antar kedua fasanya saling terhubung dan tidak terhubung ke tanah. Gangguan dua fasa ke tanah ialah gangguan yang terjadi saat antar kedua fasanya terhubung ke tanah.



Gambar 2.3 Gangguan Antar Fasa [11]

2.5 Voltage sag

Voltage sag merupakan suatu penurunan nilai tegangan efektif atau tegangan rms pada frekuensi dengan durasi yang singkat, antara 0.5 sampai 30 cycle atau 10 ms sampai beberapa detik. IEEE Standard 1159 - 1995 mendefinisikan *voltage sag* sebagai variasi tegangan rms dengan nilai antara 10% sampai dengan 90% dari tegangan normal dan berlangsung selama 0.5 siklus sampai satu menit yang dapat dilihat pada gambar 2.4. Penyebab dari *voltage sag* ialah akibat dari gangguan *short circuit* 1 fasa atau 3 fasa ke tanah, *starting* motor berdaya besar, perubahan beban yang secara tiba-tiba. *Voltage sag* pada sistem yang mengalami gangguan biasanya terjadi dalam waktu antara 5 sampai dengan 6 cycle, yang merupakan total waktu untuk mendeteksi gangguan dan *circuit breaker* akan bekerja untuk menghilangkan gangguan. Sedangkan waktu penghilangan gangguan berkisar antara 3 sampai 30 cycle tergantung magnitude arus gangguan dan jenis peralatan proteksi arus lebih.

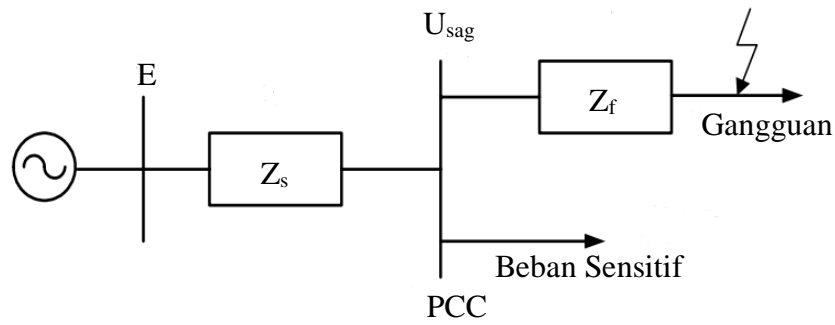


Gambar 2.4 Klasifikasi Tegangan [2]

2.6 Faktor Penyebab Munculnya *Voltage sag*

Secara umum ada dua penyebab terjadinya *voltage sag*, yaitu dikarenakan adanya kegagalan pada sistem dan pengasutan motor induksi berdaya besar. Pada motor induksi umumnya membutuhkan 5 sampai 6 kali arus ratingnya pada saat pengasutan. Arus ini akan menurun secara bertahap seiring dengan bertambahnya kecepatan motor sampai pada kecepatan ratingnya. Terjadinya *voltage sag* ini bergantung pada dinamika motor yang ditentukan oleh inersia motor tersebut.

Kegagalan yang terjadi pada saluran transmisi dan distribusi yang biasanya menjadi sumber terjadinya *voltage sag* adalah kegagalan *single line to ground* (SLG) dan *line to line* (L-L). kegagalan SLG sering disebabkan oleh kondisi cuaca yang buruk seperti karena petir, salju dan angin. Kontak binantang, ranting pohon yang menyentuh saluran, dan aktivitas manusia seperti konstruksi juga menyebabkan kegagalan SLG. Pada kegagalan L-L biasanya terjadi akibat proses switching atau *trip circuit breaker*. Kegagalan pada penyulang paralel menyebabkan *voltage sag* pada *bus substation* yang akan mempengaruhi semua penyulang sampai kegagalan dihilangkan.

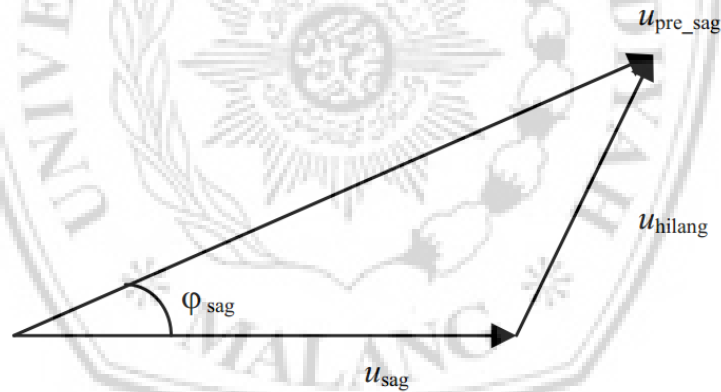


Gambar 2.5 Diagram Garis Voltage sag [16]

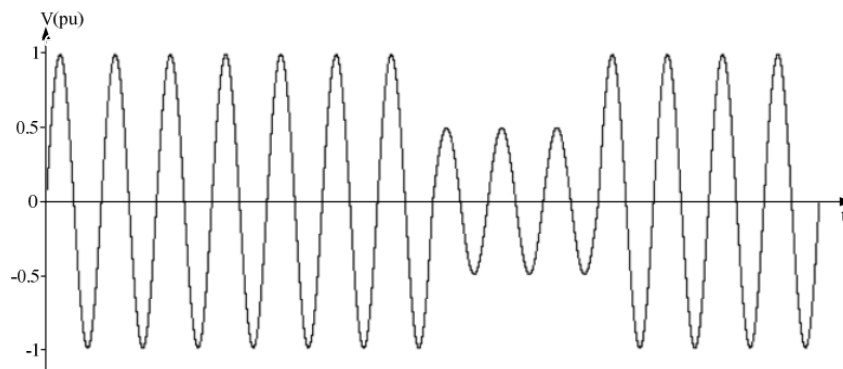
Magnitudo dan fasa dari tegangan u_{sag} selama terjadi *voltage sag* pada *point of common coupling* (PCC) ditentukan oleh besarnya impedansi gangguan dan impedansi sumber dengan persamaan berikut:

$$U(sag) = E \frac{Z_f}{Z_f + Z_s} \quad (2-3)$$

Perbedaan u_{sag} dengan tegangan sebelum gangguan $u_{pre-sag}$ sebesar u_{hilang} , dapat ditulis secara matematis sebagai $u_{sag} = u_{pre-sag} - u_{hilang}$ dan dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.6 Diagram Vektor Voltage sag [12]



Gambar 2.7 Gelombang Terjadinya Voltage sag

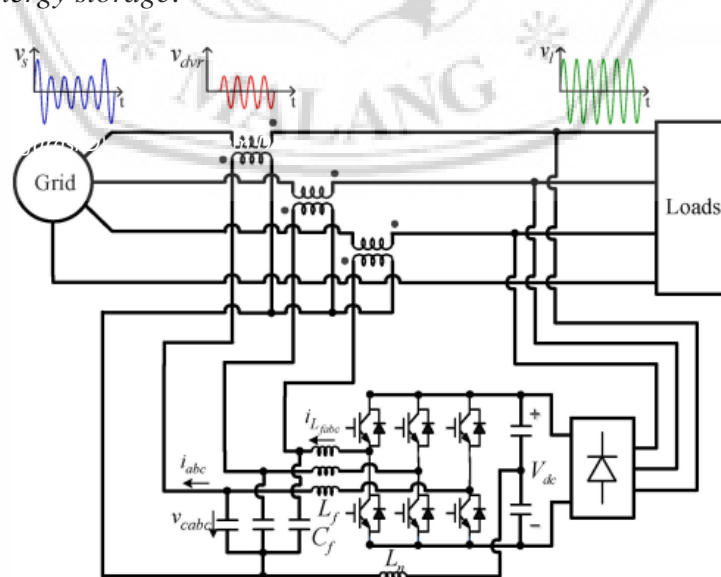
Perbedaan magnitudo dan pergeseran fasa ϕ sag dapat terjadi saat *voltage sag* berlangsung. Kedua besaran tersebut merupakan bagian dari *voltage sag*. Bentuk gelombang saat terjadi *voltage sag* dapat dilihat pada gambar 2.7.

2.7 Tentang *Dynamic voltage restorer* (DVR)

Dynamic voltage restorer (DVR) merupakan sebuah peralatan elektronika daya yang digunakan untuk melindungi beban sensitif terhadap *voltage sag*. DVR dipasang melalui trafo secara seri antara penyulang dan beban sensitif untuk mengkompensasi tegangan pada saat terjadi gangguan. DVR mempunyai dua kondisi operasi yaitu:

- Standby* atau juga disebut dengan *short circuit operation* (SCO) yaitu kondisi tidak terjadinya *voltage sag* dan tegangan yang diinjeksikan memiliki magnitudo nol (*zero magnitudo*).
- Boost* yaitu kondisi DVR menginjeksikan tegangan yang diperlukan pada magnitudo dan fasa yang sesuai untuk memperbaiki tegangan pada bus beban (*load bus*) disaat terjadinya *voltage sag*.

Secara umum konfigurasi dari rangkaian DVR pada gambar 2.8 terdiri dari empat komponen utama yang memiliki fungsinya masing-masing yaitu *injection/coupling transformer*, *control*, *Voltage Source Inverter* (VSI), *filter*, *energy storage*.



Gambar 2.8 Konfigurasi DVR Pada Sistem Distribusi [7]

2.7.1 Injection/Coupling Transformer

Transformator satu fasa dihubungkan secara seri dengan penyulang distribusi yang digandeng dengan VSI untuk level tegangan tinggi distribusi. Transformator satu fasa dapat dihubungkan secara *star/open* atau *delta/open*.

Fungsi dasar dari *injection/coupling transformer* adalah sebagai isolasi elektrik serta untuk menaikkan suplai tegangan AC yang rendah yang dihasilkan oleh VSI untuk menghasilkan tegangan yang diinginkan. Hubungan *delta/open* tidak menghasilkan injeksi tegangan urutan nol (*zero sequence voltage*). Pemilihan kumparan transformator injeksi ditentukan oleh hubungan transformator *step-down* yang diumpankan ke beban. Jika transformator dihubungkan secara *delta/open*, maka tidak perlu mengkompensasi tegangan urutan nol tapi jika yang digunakan adalah hubungan *star/open* dengan pentanahan pada titik netral, tegangan urutan nol harus dikompensasi.

2.7.2 Voltage Source Inverter (VSI)

VSI adalah peralatan elektronika daya yang dapat menghasilkan tegangan sinusoidal dengan magnitude, frekuensi, dan sudut fasa yang diinginkan. *Pulse width modulation – voltage source inverter* (PWM-VSI) digunakan pada penelitian ini yang terdiri dari *switching* yaitu *insulated gate bipolar transistors* (IGBT).

Fungsi dasar dari VSI adalah untuk mengkonversi tegangan DC yang dihasilkan oleh *energy storage device* menjadi tegangan AC yang dibutuhkan *injection/coupling transformer* untuk mengkompensasi tegangan pada beban sensitive (*critical load*)

2.7.3 Energy Storage

Fungsi *energy storage* yaitu menghasilkan daya aktif untuk mensuplai beban pada saat terjadi *voltage sag*. Baterai, *lead-acid*, *flywheel* atau *superconducting magnetic energy storage* (SMES) dapat digunakan untuk menyimpan energi.

2.7.4 Beban Nonlinear

Beban *nonlinear* adalah beban yang impedansinya tidak konstan dalam setiap periode tegangan masukan. Dengan impedansinya yang tidak

konstan, maka arus yang dihasilkan tidaklah berbanding lurus dengan tegangan yang diberikan. Sehingga beban *nonlinear* tidaklah mematuhi hukum ohm yang menyatakan arus berbanding lurus dengan tegangan.

Bentuk gelombang arus yang dihasilkan oleh beban *nonlinear* tidak sama dengan bentuk gelombang tegangan sehingga terjadi cacat (*distorsi*). Dengan meluasnya pemakaian beban *nonlinear*, gelombang sinusoidal ini dapat mengalami *distorsi*.

Kecenderungan penggunaan beban-beban elektronika dalam jumlah besar akan menimbulkan masalah yang tidak terelakkan sebelumnya. Berbeda dengan beban-beban listrik yang menarik arus sinusoidal, beban-beban elektronik menarik arus dengan bentuk nonsinusoidal walaupun disuplai oleh tegangan sinusoidal. Beban yang memiliki sifat ini disebut sebagai beban *nonlinear*.

Beban *nonlinear* adalah peralatan yang menghasilkan gelombang-gelombang arus yang berbentuk sinusoidal berfrekuensi tinggi yang disebut dengan arus harmonisa. Arus harmonisa ini menimbulkan banyak implikasi pada peralatan sistem tenaga listrik. Misal rugi-rugi jaringan akan meningkat, pemanasan yang tinggi pada kapasitor, transformator, dan pada mesin-mesin listrik yang berputar serta kesalahan pada pembacaan alat ukur.

2.8 Sistem Kendali

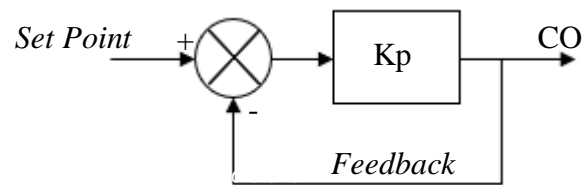
Pengendali PI merupakan pengendali yang banyak digunakan dalam industri. Pengendali PI telah bertahan sejak lama, dari era sistem analog hingga era sistem digital computer. Pada kenyataannya perkembangan teknologi digital dan *software* telah membuat perkembangan yang signifikan terhadap penelitian PI.

2.8.1 Pengendali *Proportional* (P)

Pengendali proporsional memiliki respon keluaran yang sebanding dengan sinyal *error* yang dihasilkan dan dapat memperbaiki respon transien, ini sesuai dengan persamaan P

$$CO(t) = K_p e(t) \quad (2-4)$$

Respon proporsional dapat disesuaikan dengan mengalikan sinyal error terhadap K_p atau yang disebut dengan proporsional gain.



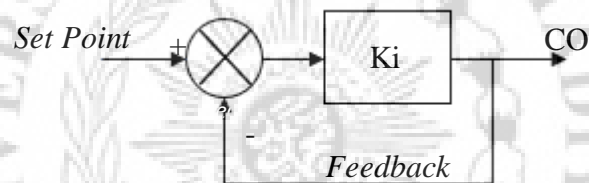
Gambar 2.9 Diagram Blok Pengendali Proposional

2.8.2 Pengendali *Integral*

Pengendali *integral* digunakan untuk menghilangkan *error steady state (offset)* pada keadaan tunak. *Offset* biasanya terjadi pada *plant* yang tidak mempunyai factor integrase ($1/s$), ini sesuai denagan persamaan berikut

$$CO(t) = K_i \int e(t) dt \quad (2-5)$$

Disamping menghilangkan sinyal *error* dan *offset*, ada kemungkinan pengendali *integral* dapat menimbulkan respon yang berosilasi dengan amplitude yang mengecil secar perlahan atau membesar.



Gambar 2.10 Diagram Blok Pengendali Integral

2.9 Particle Swarm Optimization (PSO)

Particle Swarm Optimization (PSO) merupakan salah satu algoritma yang digunakan untuk *tunning* pada sistem kontrol. Teknik *tunning* didasarkan pada penelusuran algoritma dan diawali dengan suatu populasi yang random yang disebut *particle* [13]. Algoritma PSO diperkenalkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995, proses algoritmanya terinspirasi dari perilaku sosial sekumpulan serangga atau burung dalam suatu *swarm*.

Berbeda dengan teknik *tunning* lainnya, setiap *particle* pada PSO juga berhubungan dengan suatu *velocity*. *Particle-particle* tersebut bergerak melalui penelusuran ruang dengan *velocity* dinamis yang disesuaikan menurut perilaku historisnya. Oleh karena itu, *particle-particle* mempunyai kecenderungan untuk bergerak ke area penelusuran yang lebih baik setelah melewati proses penelusuran.

Algoritmanya yang sederhana dan performanya yang bagus membuat PSO banyak digunakan oleh para peneliti dan banyak diaplikasikan pada berbagai persoalan optimasi sistem tenaga seperti desain kontrol PID, kontrol tegangan dan daya reaktif. PSO telah populer menjadi optimasi global dengan sebagian besar permasalahan dapat diselesaikan dengan baik dan variabelnya berupa bilangan riil.

Beberapa istilah umum yang biasa digunakan pada PSO dapat didefinisikan sebagai berikut:

- a. *Swarm* : populasi suatu algoritma
- b. *Particle* : anggota pada suatu *swarm*. Posisi suatu *particle* ditentukan oleh representasi solusi saat itu. Setiap *particle* merepresentasikan suatu solusi yang potensial pada permasalahan yang diselesaikan.
- c. *Pbest (Personal best)* : posisi *Pbest* suatu *particle* menunjukkan posisi *particle* yang disiapkan untuk mendapatkan suatu solusi terbaik.
- d. *Gbest (Global best)* : posisi terbaik *particle* pada *swarm*.
- e. *Velocity* (vektor) : vektor yang menggerakkan proses optimasi yang menentukan arah agar suatu *particle* diperlukan berpindah untuk memperbaiki posisi semula.
- f. *Inertia weight* : *inertia weight* disimbolkan w , parameter ini digunakan untuk mengontrol dampak dari adanya *velocity* yang diberikan oleh suatu *particle*.

Prosedur standar untuk menerapkan algoritma PSO ialah sebagai berikut:

- a. Inisialisasi populasi dari *particle-particle* dengan posisi dan *velocity* secara *random* pada ruang dimensi penelusuran.
- b. Evaluasi fungsi *fitness* optimasi yang diinginkan di dalam variable d pada setiap *particle*.
- c. Membandingkan evaluasi *fitness particle* dengan *Pbest*
- d. Identifikasi *particle* dalam lingkungan dengan hasil yang terbaik.
- e. Perbarui *velocity* dan posisi *particle*
- f. Kembali ke step 2 sampai kriteria terpenuhi.

Seperti halnya dengan algoritma lainnya, algoritma PSO adalah sebuah populasi yang didasarkan penelusuran inisialisasi *particle* secara

random dan adanya interaksi diantara *particle* dalam populasi. Di dalam PSO setiap *particle* bergerak melalui ruang solusi dan mempunyai kemampuan untuk mengingat posisi terbaik sebelumnya dan dapat bertahan dari generasi ke generasi.

2.9.1 Ukuran Swarm

Ukuran *swarm* atau populasi yang dipilih adalah tergantung pada persoalan yang dihadapi. Ukuran *swarm* yang umum digunakan yaitu berkisar antara 20 sampai 50. Hal tersebut telah dipelajari sejak dulu bahwa PSO hanya perlu ukuran *swarm* atau populasi yang lebih kecil dibandingkan algoritma-algoritma lainnya.

2.9.2 Koefisien Akselerasi

Pada umumnya nilai untuk koefisien akselerasi c_1 dan c_2 yaitu 2. Namun nilai tersebut dapat ditentukan sendiri dalam penelitian yang berbeda. Biasanya nilai c_1 dan c_2 sama dan berada pada rentang 0 sampai 4.

2.9.3 Inertia Weigth

Perubahan *velocity* pada algoritma PSO terdiri dari tiga bagian yaitu *social part*, *cognitive part*, dan *momentum part*. Ketiga bagian tersebut menentukan keseimbangan antara kemampuan penelusuran *global* dan *local*. Oleh karena itu akan memberikan performa yang baik pada PSO.

Parameter *inertia weigth* digabungkan dengan *social part* pada algoritma PSO. Persamaan dari PSO yaitu

$$V_{id} = w V_{id} + c_1 \text{rand}_1 (P_{id} - X_{id}) + c_2 \text{rand}_2 (P_{gd} - X_{id}) \quad (2-6)$$

dan

$$X_{id1} = X_{id} + V_{id} \quad (2-7)$$

Inertia weigth diperkenalkan untuk keseimbangan antara kemampuan penelusuran *global* dan *local*. Secara umum parameter *inertia weigth* (w) diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut

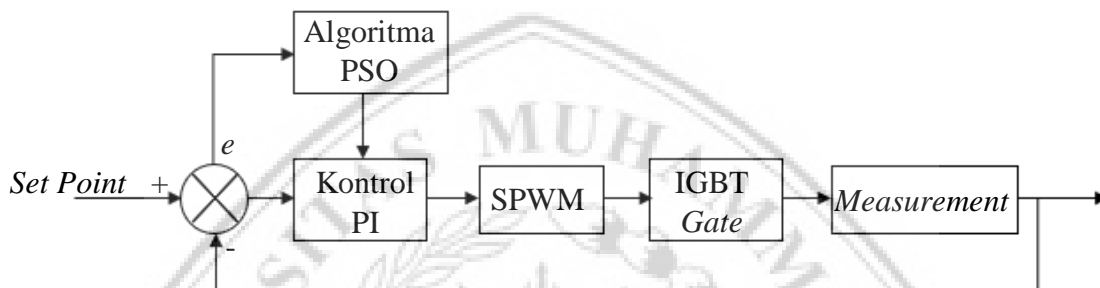
$$w = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{\text{iterasi max}} \text{Iterasi} \quad (2-8)$$

Inertia weigth yang besar dapat memudahkan dalam penelusuran *global* dan *inertia weigth* yang kecil memudahkan untuk penelusuran *local*. Penggunaan *inertia weigth* dapat meningkatkan performa dalam beberapa

aplikasi dengan nilai *velocity* maksimum, nilai *w* pada rentang dinamis dari setiap *variable* biasanya antara 0,4 sampai 0,9.

2.10 DVR Dengan PI - PSO Controller

Penambahan algoritma PSO digunakan sebagai *tunning* pada PI controller. PI controller yang di *tunning* dengan PSO akan menghasilkan nilai K_p dan K_i secara otomatis. Nilai K_p dan K_i dari hasil *tunning*, merupakan nilai terbaik. Nilai K_p dan K_i terbaik akan menghasilkan tegangan injeksi yang mendekati nilai tegangan yang hilang akibat *voltage sag*. Gambar 2.11 merupakan diagram blok DVR dengan menggunakan PI-PSO controller.



Gambar 2.11 Diagram Blok DVR dengan PI-PSO Controller