

Analisa Pemulihan Gangguan Voltage Dip Menggunakan Dynamic Voltage Restorer (Dvr) Di Krakatau Daya Listrik

Setiawan Andri Pratama
Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas
Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon, Indonesia
setiawandrip@gmail.com

Abstrak— Tegangan yang baik adalah tegangan dengan nilai mendekati 1 pu, faktor daya yang mendekati 1, dan dengan toleransi frekuensi tidak lebih dari 0,6 Hz. Akan tetapi, dalam praktiknya sistem tenaga banyak mengalami gangguan yang berpengaruh secara signifikan pada kualitas daya dari suplai. Gangguan tersebut dapat berupa jatuh tegangan dan *voltage dip* (kedip tegangan). Dalam penelitian ini, dilakukan dengan mendesain *dynamic voltage restorer* (DVR) untuk menangani masalah kualitas tegangan khususnya *voltage dip*. Simulasi dilakukan dengan menggunakan Matlab Simulink dengan beban aktif 10 MW dan reaktif 4 MVAR pada saluran penyalang AK13 20 kV di Krakatau Daya Listrik. Ketika simulasi dijalankan tanpa DVR, terjadi jatuh tegangan pada beban sebesar 0.65 pu (13 kV). Namun saat simulasi dijalankan dengan DVR, tegangan beban dapat diperbaiki kembali menjadi 1 pu (20 kV).

Kata Kunci— Simulasi, kualitas tegangan, *voltage dip*, DVR

I. PENDAHULUAN

Kualitas daya listrik menjadi masalah yang penting, karena daya listrik yang disalurkan ke konsumen haruslah yang berkualitas baik. Gangguan-gangguan kelistrikan dapat mengurangi kualitas daya, dimana salah satu gangguan tersebut adalah *voltage dip*. *Voltage dip* merupakan gangguan [1]. *Voltage dip* merupakan salah satu faktor penyebab berkurangnya kualitas daya listrik yang terjadi dalam durasi waktu yang singkat. Gangguan ini sulit untuk dihindari karena saat terjadinya gangguan tidak dapat diketahui dengan pasti. Oleh sebab itu dilakukan antisipasi apabila terjadi *voltage dip* pada sisi sumber tegangan tidak akan mengakibatkan terganggunya tegangan pada sisi beban.

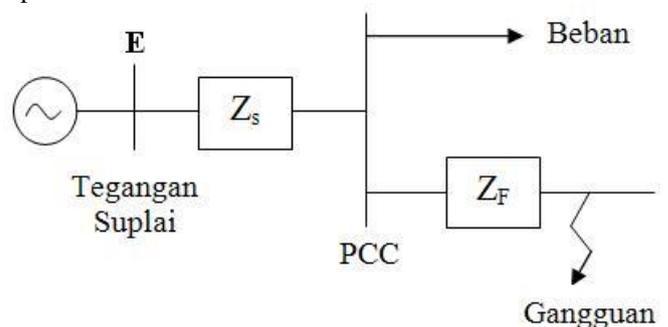
Salah satu cara yang dilakukan adalah dengan menggunakan *Dynamic Voltage Restorer* (DVR). DVR merupakan suatu konverter elektronika daya yang didesain untuk menjaga tegangan beban dari semua gangguan sisi suplai [2]. DVR merupakan salah satu peralatan custom power system (CUPS), dimana DVR memiliki topologi yang hampir serupa dengan *uninterruptible power supply* (UPS) [3].

II. LANDASAN TEORI

A. *Voltage Dip*

Salah satu persoalan terbesar mengenai kualitas daya dewasa ini adalah *voltage dip*. Gangguan ini merupakan gangguan dengan durasi waktu yang singkat. *Voltage dip* didefinisikan sebagai penurunan nilai rms tegangan yang dapat terjadi dari 0.1 detik sampai ke 1 menit dengan kedalaman jatuhnya tegangan sebesar 0,9 pu sampai 0,1 pu berdasarkan standar IEEE 1159-1995 [1]. *Voltage dip* bisa diakibatkan oleh hubung singkat pada sistem tenaga, starting motor dengan daya yang cukup besar, energizing transformator, dan lain-lain [2]. Kontaktor, PLC dan *Adjustable Speed Drive* (ASD) adalah peralatan-peralatan yang sangat sensitif terhadap terjadinya *voltage dip*.

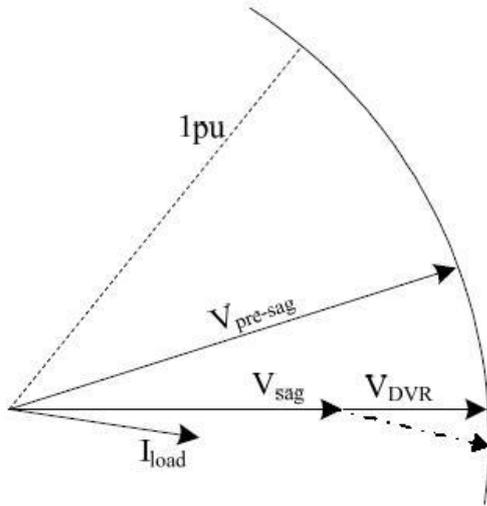
Voltage dip umumnya disebabkan oleh arus hubung singkat. Penjelasan sederhananya ditunjukkan pada Gambar 1. Fasa dan besar dari *voltage dip* pada point of common coupling (PCC) ditentukan oleh gangguan dan impedansi suplai.



Gambar 1. Gangguan *voltage dip*

Pada *voltage dip* ini hanya besaran tegangan yang dikompensasi. Hal ini dikarenakan tegangan yang dikompensasi sefasa dengan *voltage dip* yang terjadi. Dapat dilihat di Gambar 2 tidak terdapat perbedaan sudut fasa antara V_{dip} dengan V_{DVR} , dimana V_{DVR} adalah tegangan yang

diinjeksikan untuk mencapai $V_{pre-dip}$ (1 pu). Definisi suatu voltage dip dinyatakan dengan persamaan (1) [3].



Gambar 2. Teknik kompensasi DVR

$$V_{dip} = V_{pre-dip} - V_{missing} \quad (1)$$

dimana,
 $V_{pre-dip}$ = tegangan sebelum gangguan voltage dip
 $V_{missing}$ = tegangan yang hilang

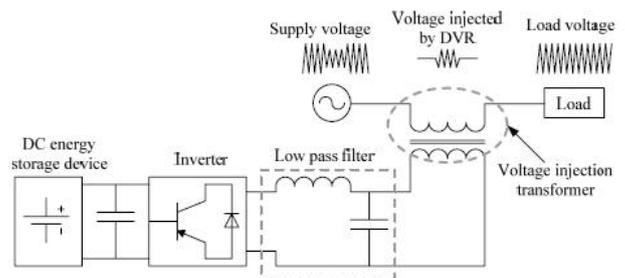
B. Dynamic Voltage Restorer

Begitu banyak peralatan CUPS (custom power systems) yang tersedia di pasaran sekarang ini, yaitu seperti active power filter (APF), distribution static synchronous compensator (DSTATCOM), distribution series capacitors (DSC), dynamic voltage restorer (DVR), surge arresters (SA), static var compensator (SVC), dan uninterruptible power supplies (UPS) [3]. Dalam menangani masalah gangguan voltage dip, terdapat tiga jenis pengontrol diantaranya adalah pengontrol shunt, pengontrol series, dan kombinasi dari pengontrol shunt dan series yang dikenal dengan unified power quality conditioner (UPQC). DVR merupakan peralatan dengan pengontrol series.

Gambar 3 menunjukkan elemen-elemen yang terdapat dalam suatu DVR pada umumnya dan berikut ini menjelaskan elemen-elemen dasar suatu DVR tersebut, antara lain:

- Control system yang dilakukan dengan mengukur secara kontinu besar tegangan beban yang kemudian dibandingkan dengan besar tegangan referensi.

- Konverter; Konverter yang dimaksud serupa dengan voltage source inverter (VSI), dimana pulse width modulates (PWM) dengan sumber daya DC atau penyimpan tegangan diinjeksikan ke sistem.
- Filter; Filter disisipkan untuk mengurangi harmonisa switching yang dihasilkan oleh konverter.
- Transformator injeksi; Dalam kebanyakan aplikasi, DVR dilengkapi dengan trafo injeksi yang bertugas menginjeksikan tegangan hasil DVR ke dalam jaringan.
- Penyimpan energi dan sumber DC; sumber DC digunakan oleh VSI untuk menghasilkan tegangan AC ke dalam jaringan selama voltage dip terjadi.



Gambar 3. Struktur dasar sistem DVR

Fungsi dasar dari DVR adalah mendeteksi terjadinya voltage dip yang terjadi pada saluran sistem tenaga, kemudian menginjeksikan tegangan DVR untuk mengkompensasi voltage dip yang terjadi. Prinsip kerjanya cukup sederhana. Tegangan yang terukur pada beban dibaca oleh regulator tegangan untuk memberikan sinyal komando kepada voltage source inverter (VSI). Sinyal komando tersebut berupa pulsa atau dikenal sebagai pulse width modulation (PWM). Sinyal pulsa ini diresponi oleh inverter yang dicatu daya DC untuk menghasilkan tegangan AC saat terjadi gangguan. Karena inverter merupakan piranti semikonduktor dan dicatu oleh tegangan DC, maka tegangan yang dihasilkan tidak murni sinusoidal (berupa tegangan kotak) dan juga mengandung harmonisa. Untuk itu diperlukan filter untuk mengubahnya menjadi tegangan sinusoidal. Tegangan yang dihasilkan oleh inverter kemudian diinjeksikan kembali ke dalam sistem melalui transformator injeksi. Sistem DVR terkadang ditambahkan mekanika by-pass sebagai piranti penahan yang menjaga sistem bila DVR menghasilkan tegangan atau arus yang terlalu besar.

C. Teknik Deteksi Voltage Dip Pada DVR

Fungsi utama dari kontroller pada DVR adalah mendeteksi terjadinya voltage dip pada sistem. Untuk mengatur kontroller pada DVR tersebut digunakan transformasi dq0 atau transformasi Park. Metode dq0 tersebut akan memberikan informasi kedalaman kedip dan pergeseran fasa disertai titik

awal dan titik akhir voltage dip tersebut. Dimana proses transformasi dari sistem tiga fasa ke sistem dq0 ditunjukkan pada Persamaan (2) sampai (4).

$$V_0 = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c) \tag{2}$$

$$V_d = \frac{2}{3}\left(V_a \sin \omega t + V_b \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) + V_c \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)\right) \tag{3}$$

$$V_q = \frac{2}{3}\left(V_a \cos \omega t + V_b \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) + V_c \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)\right) \tag{4}$$

Teknik pendeteksian dibuat berdasarkan perbandingan tegangan referensi terhadap tegangan hasil pengukuran (V_a , V_b dan V_c). Metode dq0 memberikan informasi kedalaman tegangan yang jatuh (d) dan pergeseran dari fasa tegangan (q) [4].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan oleh penulis menggunakan software Matlab/Simulink 2014a. Dalam simulasi ini, sistem saluran distribusi dimodelkan sedemikian rupa agar serupa dengan kenyataan di lapangan.

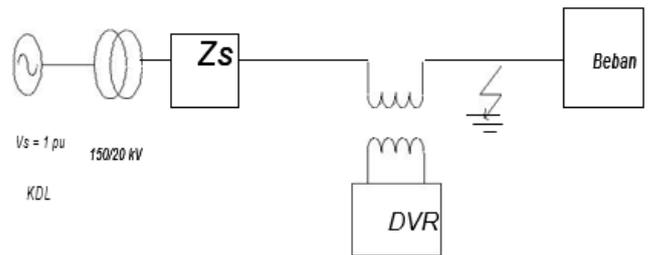
Adapun langkah-langkah pelaksanaan pada simulasi DVR (Dynamic Voltage Restorer) adalah sebagai berikut :

- Melakukan langkah persiapan, yang meliputi pengumpulan data dan penentuan parameter DVR, gangguan, beban dan lain – lain.
- Dari data ini kemudian kita bangun rangkaian DVR dan simulasi dengan bantuan program Matlab/Simulink 2014a.
- Buat gangguan hubung singkat tiga fasa yaitu dengan memberikan tanda check point pada fasa yang diinginkan terganggu dari ketiga fasa yang ada.
- Lanjutkan dengan membuat simulasi dengan urutan sebagai berikut :
 - o Melakukan deteksi voltage dip dan membangkitkan tegangan kompensasi oleh inverter SPWM.
 - o Ukur besar tegangan beban dan besar tegangan yang akan disuntikkan DVR melalui transformator injeksi ke sistem, sehingga tegangan beban dijaga pada 1 pu atau mendekati. Apabila hal ini tidak tercapai, lakukan dengan mengubah nilai parameter-parameter sistem sampai dengan tegangan beban diperoleh 1 pu atau mendekati.
 - Catat besar tegangan beban beserta durasi pemulihan voltage dip.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk simulasi kompensasi tegangan pada aplikasi praktis, diterapkan DVR dengan skema kontrol SPWM. Tujuan dari skema kontrol yang dibuat adalah untuk menjaga nilai konstan magnitude tegangan pada titik beban sensitif pada kondisi sistem mengalami gangguan.

Gambar 4 sebagai rangkaian simulasi menunjukkan diagram satu garis sistem pengujian. Sistem tersusun dari sistem pembangkit 150 kV 50Hz menyuplai saluran transmisi. Lalu saluran transmisi tersebut menyuplai jaringan distribusi melalui trafo dalam hubungan Yg/y dengan rating tegangan 150 kV/20 kV. Untuk menguji kerja kompensasi DVR, sebuah gangguan diterapkan pada titik saluran menuju beban selama 0.4 detik. DVR disimulasikan beroperasi hanya selama durasi gangguan.



Gambar 4. Rancangan simulasi voltage dip pada jaringan distribusi

Pada penelitian ini, metode deteksi voltage dip dilakukan dengan kontrol PI menggunakan transformasi dq0 atau transformasi Park yang dilengkapi dengan Phase Locked Loop (PLL), dan dimodelkan menggunakan Matlab/Simulink 2014a.

Berikut adalah parameter-parameter yang diberikan pada simulasi DVR untuk sistem distribusi saluran penyulang AK 13 Krakatau Daya Listrik:

- Sumber Tegangan (Vrms phase to phase) : 150 KV
- Daya transformator distribusi : 80 MVA
 - o Frekuensi : 50 Hz
 - o Tegangan lilitan primer : 150 kV (Vrms phase to phase)
 - o Tegangan lilitan sekunder : 20 kV (Vrms phase to phase)
- Transformator injeksi :
 - o Tegangan lilitan primer : 40 kV
 - o Tegangan lilitan sekunder : 20 kV
- Frekuensi carrier PWM : 5 KHz
- Filter
 - o Induktif : 100 mili Henry
 - o Kapasitif : 100 mikro Farad
- Beban:
 - o Daya aktif :10 MW

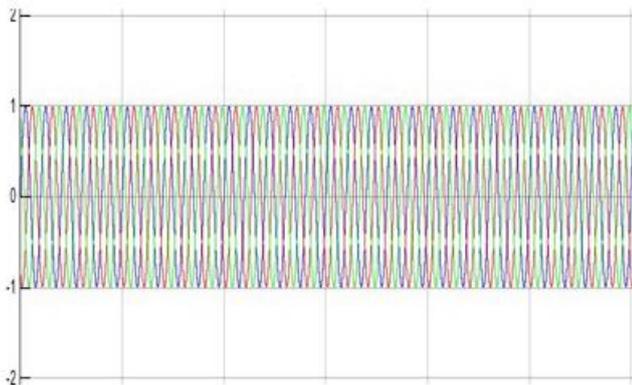
- o Daya reaktif : 4 MVAR

Setelah ditentukan nilai parameter simulasi, selanjutnya dibentuk suatu model pengujian yang akan diuji menggunakan software Matlab Simulink 2014a. Pengujian dilakukan dengan beberapa kondisi, yaitu :

- kondisi-1 saat sebelum terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa
- kondisi-2 saat hubung singkat tiga fasa tanpa menggunakan DVR (Dynamic Voltage Restorer)
- kondisi-3 saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa dengan menggunakan DVR (Dynamic Voltage Restorer)

A. Sebelum Terjadi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Pada Gambar 5 terlihat grafik tegangan tiga fasa bernilai 1 pu (keadaan normal). Grafik itu mengindiskan belum terusiknya sistem oleh gangguan dari luar yang dapat menyebabkan bentuk grafik tersebut melenceng dari yang sebagaimana mestinya. Bentuk grafik seperti inilah yang harus dipertahankan oleh sistem agar tercipta kualitas daya yang baik dan membuat peralatan listrik bekerja secara optimal.



Gambar 5. Simulasi saat sebelum terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa

B. Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

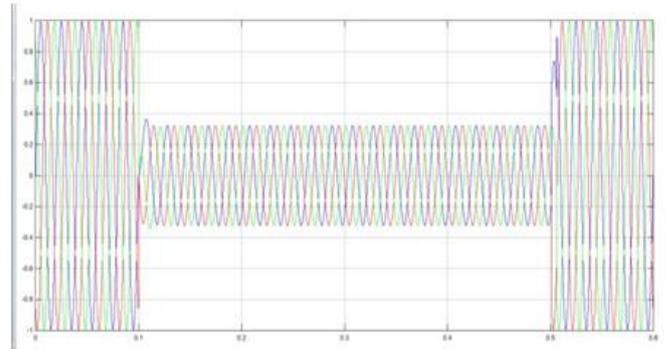
Pada gangguan hubung singkat tiga fasa lonjakan arus dan penurunan tegangan (voltage dip) memiliki nilai yang sama pada setiap fasanya. Artinya apabila terjadi penurunan nilai tegangan sebesar “x” pu itu berarti fasa a, fasa b, dan fasa c mengalami penurunan nilai tegangan sebesar “x” pu.

Semakin besar nilai voltage dip yang terjadi dan semakin lama durasi waktunya maka akan membuat peralatan listrik bekerja tidak optimal.

Terjadinya gangguan hubung singkat tiga fasa, mengakibatkan sistem mengalami gangguan voltage dip. Seperti yang terlihat pada Gambar 6 tegangan fasa – a V_a , fasa – b V_b , dan fasa – c V_c mengalami drop tegangan yang dipengaruhi voltage dip ketika menuju ke 0.1 detik sampai dengan 0.5 detik. Akibat jaringan tidak dilindungi oleh DVR maka tidak ada pemulihan tegangan pada fasa – a, fasa – b, dan fasa – c.

Dari Gambar 6 besarnya penurunan tegangan yang terjadi pada beban yang mengalami voltage dip dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

Dari hasil perhitungan dengan persamaan (1) dapat diketahui bahwa voltage dip yang terjadi pada sistem distribusi yang tidak menggunakan DVR adalah 0.65 pu. Voltage dip sebesar itu melebihi batas toleransi penurunan tegangan yang diijinkan, yakni hanya 0.1 pu. Dengan penurunan sebesar ini, peralatan-peralatan di industri yang sensitif terhadap tegangan akan mengalami gangguan kerja.



Gambar 6. Hasil simulasi tegangan beban setelah terjadi hubung singkat tiga fasa

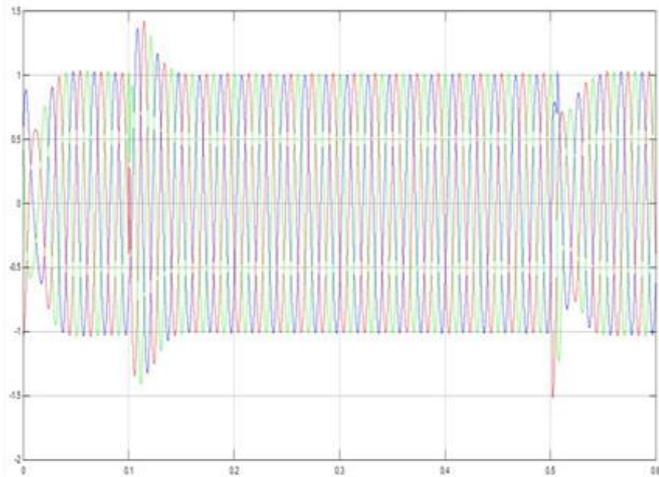
C. Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Dengan Menggunakan DVR

Dari Gambar 7 dapat dilihat saat sistem mengalami gangguan voltage dip, DVR akan mengkompensasi tegangan yang hilang akibat gangguan hubung singkat. Saat terjadi voltage dip, sinyal tegangan yang disensor oleh rangkaian kontrol DVR akan mendeteksi adanya penurunan tegangan, dari penurunan tegangan yang terjadi tersebut akan menghasilkan tegangan input untuk mengaktifkan gate inverter sehingga storage sistem akan mengalirkan tegangan DC yang kemudian diubah menjadi AC oleh inverter untuk dialirkan ke beban sebagai kompensator voltage dip.

Adapun kontrol dari DVR ini adalah selisih tegangan referensi (1 pu) dengan voltage dip (penurunan tegangan) pada beban yang akan menghasilkan sinyal injeksi dan kemudian diterjemahkan oleh rangkaian voltage source inverter (VSI). Fungsi utama dari controller pada DVR adalah mendeteksi

terjadinya voltage dip pada sistem. Voltage dip akan terdeteksi apabila tegangan sumber jatuh dibawah 90% tegangan referensi. Sinyal error yang diakibatkan terdapatnya perbedaan antara tegangan hasil pengukuran dengan tegangan referensi digunakan sebagai sinyal modulasi untuk menghasilkan pola sebagai pemicu penyalan IGBT. Namun ada juga efek samping dari DVR itu sendiri, yakni adanya gejala transien yang menyebabkan tegangan sementara tidak stabil, akan tetapi hal ini dapat ditoleransi karena interval waktunya sangat kecil (kurang dari 0.05 detik).

Perangkat filter juga menjadi bagian yang penting dalam sistem DVR. Dari grafik yang dihasilkan, terlihat bahwa sinyal yang dihasilkan VSI untuk DVR mengkompensasi tegangan selama gangguan voltage dip sangat halus dan sudah sangat sinusoidal. Penentuan parameter yang tepat untuk filter berpengaruh pada kualitas tegangan yang dihasilkan oleh inverter dan akhirnya juga berpengaruh pada kualitas tegangan beban.



Gambar 7. Hasil simulasi tegangan beban setelah terjadi hubung singkat tiga fasa menggunakan DVR

V. KESIMPULAN

Simulasi voltage dip dilakukan dengan menjalankan gangguan hubung singkat 3 fasa, dan disimulasikan pada rentang waktu 0.1 s/d 0.5 s. Saat sistem transmisi dijalankan tanpa sistem DVR tegangan beban turun menjadi 0.35 pu. Saat sistem DVR terpasang pada sistem transmisi, tegangan beban selama gangguan voltage dip terjadi dapat diperbaiki hingga 1 pu atau sebesar 20 kV.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim editorial Jurnal Teknologi Elektro atas dipublikasikannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Omar, Rosli, dkk. Modelling And Simulation For Voltage Sag/Swell Mitigation Using Dynamic Voltage Restorer (DVR). *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2009. Malaysia.
- [2] Arindam Ghosh. Compensation of Distribution System Voltage Using DVR. *IEEE Transactions On Power Delivery*, Vol. 17, No. 4, October 2002
- [3] John Godsk Nielsen. Design and Control of a Dynamic Voltage Restorer. Thesis. 2002. Aalborg University, Denmark
- [4] Teguh. Analisa Dan Desain Dynamic Voltage Restorer Untuk Mitigasi Voltage Dip. Skripsi. 2009. Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten
- [5] Nugroho, Praditya Adi. Analisa Dan Simulasi Static Var Compensator (SVC) Sebagai Kompensator Daya Reaktif Di Industri Baja PT. Krakatau Steel. Skripsi. 2009. Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten