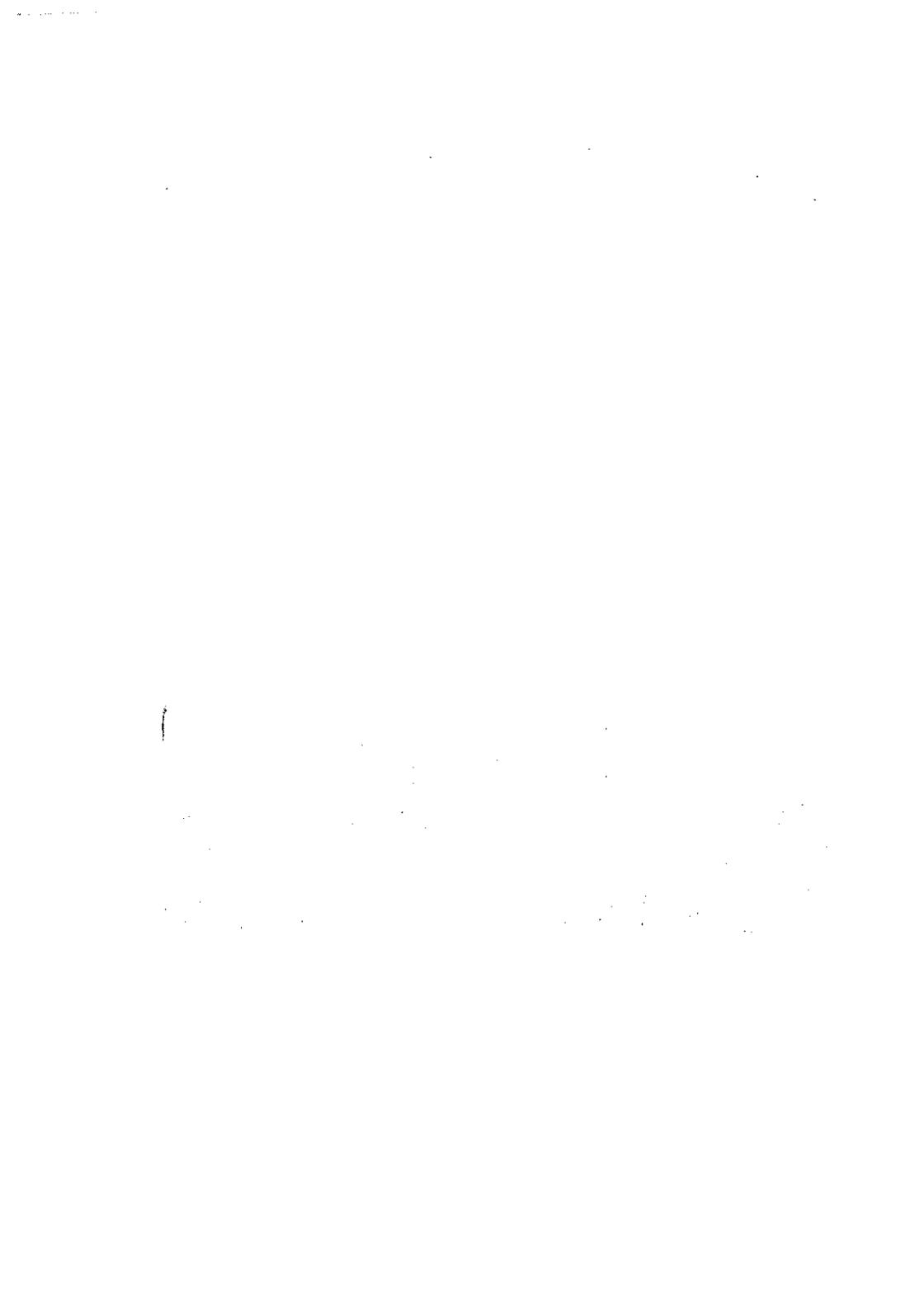


Visualisasi
Sistem Tenaga Listrik
Menggunakan PowerWorld Simulator





GRAHA ILMU

Visualisasi Sistem Tenaga Listrik Menggunakan PowerWorld Simulator

Yusak Tanoto

VISUALISASI SISTEM TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN POWERWORLD SIMULATOR

Oleh : Yusak Tanoto

Edisi Pertama

Cetakan Pertama, 2013

Hak Cipta © 2013 pada penulis,
Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.



GRAHA ILMU

Ruko Jambusari No. 7A

Yogyakarta 55283

Telp. : 0274-889836; 0274-889398

Fax. : 0274-889057

E-mail : info@grahailmu.co.id

Tanoto, Yusak

VISUALISASI SISTEM TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN
POWERWORLD SIMULATOR/Yusak Tanoto

-Edisi Pertama - Yogyakarta; Graha Ilmu, 2013
viii + 72 hlm, 1 Jil. : 23 cm.

ISBN: 978-602-262-055-6

1. Komputer

I. Judul



KATA PENGANTAR

Berawal dari permintaan Himpunan Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Petra kepada saya untuk mengadakan kegiatan pengabdian kepada masyarakat berupa lokakarya penggunaan perangkat lunak PowerWorld Simulator kepada mahasiswa di Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Petra, timbul ide untuk melanjutkan kegiatan ini dalam bentuk dokumentasi yang lebih baik. Buku ini disusun sebagai panduan praktis bagi setiap pembaca yang tertarik untuk mendalami analisis sistem tenaga listrik melalui pendekatan visualisasi. Ada banyak perangkat lunak untuk analisis sistem tenaga listrik yang tersedia baik secara bebas maupun komersial. Namun demikian, hingga saat ini jarang dijumpai yang menyajikan analisis dan pemecahan masalah dengan tampilan grafis seperti yang disediakan oleh PowerWorld Simulator. Penggunaan pendekatan visualisasi untuk permasalahan analisis sistem tenaga listrik dapat menjadikan kegiatan belajar-mengajar maupun eksplorasi pribadi menjadi lebih menyenangkan dan mempermudah pemahaman. Perangkat lunak ini dapat diunduh secara bebas untuk versi edukasi dan dilengkapi dengan beberapa *Add-on* seperti analisis *Optimal Power Flow*, analisis *Transient Stability*, *Available Transfer Capability*, *PV/QV Curve*, dan sebagainya.

Materi yang disajikan dalam buku ini meliputi sebagian kecil kemampuan PowerWorld Simulator versi 16. Pengenalan fitur antarmuka dan latihan menggunakan simulator ini untuk menganalisis aliran daya menjadi fokus pembahasan yang terdapat dalam buku ini. Meskipun hanya mengupas sebagian kecil manfaat PowerWorld Simulator, pembaca dapat mengeksplorasi lebih lanjut dan mendapati bahwa perangkat lunak ini memberikan keuntungan penggunaan di mana secara umum pengguna dapat menerapkan panduan ini untuk versi-versi di

bawahnya maupun suatu saat untuk versi di atasnya. Demikian pula kemampuan analisis dan simulasi yang sangat baik bahkan untuk sistem tenaga listrik yang terdapat pada *deregulated market*.

Akhirnya, penulis berharap buku panduan ini dapat berguna bagi setiap orang yang memiliki minat dibidang teknik elektro dan perangkat lunak yang dijelaskan dapat dimanfaatkan sebagai salah satu alternatif analisis sistem tenaga listrik. Bab 1 akan menjelaskan pengenalan PowerWorld Simulator secara umum dan cara men-*download* dari *resources* yang tersedia secara *online*. Bab 2 berisi penjelasan tentang tampilan antarmuka dan fitur-fitur yang tersedia. Bab 3 menjelaskan cara kita mulai bekerja dengan studi kasus baru di simulator ini hingga dapat memonitor aliran daya dan menginterpretasikannya. Bab 4 akan menjelaskan pemanfaatan fasilitas *Add-On* pada simulator ini, khususnya *Optimal Power Flow* yang akan sangat bermanfaat pada studi analisis aliran daya. Bab 5 berisi contoh soal latihan dan penyelesaian secara terbatas penggunaan simulator untuk memecahkan permasalahan aliran daya dan monitoring kondisi sistem. Akhir kata, penulis mengharapkan sedikit tulisan ini kiranya dapat bermanfaat bagi para pembaca. Saran dan kritik sangat diharapkan untuk menyempurnakan buku ini ke depan.

Surabaya, April 2013

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v	
DAFTAR ISI	vii	
BAB 1	PENGENALAN POWERWORLD SIMULATOR	1
	1.1 Memulai bekerja dengan PowerWorld Simulator	3
BAB 2	MEMAHAMI TAMPILAN ANTARMUKA	9
	2.1 <i>Quick Access Toolbar</i>	11
	2.2 <i>Ribbon tab Add Ons</i>	12
	2.3 <i>Ribbon tab Case Information</i>	13
	2.4 <i>Ribbon tab Draw</i>	14
	2.5 <i>Ribbon tab Onelines</i>	18
	2.6 <i>Ribbon Tab Options</i>	19
	2.7 <i>Ribbon Tab Tools</i>	20
	2.8 <i>Ribbon Tab Window</i>	23
	2.9 <i>Solution Options Quick Menu</i>	24
BAB 3	BEKERJA DENGAN STUDI KASUS BARU	27
	3.1 Membuat Sistem Tenaga Listrik Baru	27
	3.2 Memonitor Aliran Daya	45

BAB 4	PEMANFAATAN FASILITAS ADD-ON	49
4.1	<i>Optimal Power Flow Tool</i>	49
4.2	Studi kasus OPF 3-Bus	54
4.3	<i>Local Marginal Price</i>	57
4.3	OPF dengan <i>Unenforceable Constraints</i>	58
BAB 5	BERLATIH DENGAN POWERWORLD SIMULATOR	61
DAFTAR PUSTAKA		67
TENTANG PENULIS		69

-oo0oo-

Pengenalan PowerWorld Simulator

PowerWorld Simulator adalah *software* / perangkat lunak untuk simulasi ketenagalistrikan khususnya untuk analisis sistem tenaga listrik yang didesain dan dikembangkan secara berkesinambungan sehingga penggunaannya menjadi sangat *user-friendly* dan interaktif. Dalam kapabilitasnya sebagai perangkat lunak untuk bidang keilmuan teknik tenaga listrik, simulator ini telah teruji memiliki kemampuan yang setara dalam memecahkan permasalahan-permasalahan di area sistem ketenagalistrikan dengan perangkat lunak sejenis, namun mempunyai kelebihan pada tampilannya yang tersaji secara interaktif melalui tampilan visualisasi grafis. Hal ini menyebabkan penggunaan simulator ini menjadi sangat mudah dan menarik. Selain itu, analisis yang dilakukan dengan simulator ini, baik berupa hasil maupun tampilannya dapat digunakan untuk menjelaskan mekanisme operasional sistem tenaga listrik kepada pihak-pihak terkait yang tidak mempunyai latar belakang teknik, khususnya teknik tenaga listrik. Pada beberapa kasus analisa, PowerWorld Simulator mampu melakukan analisa-analisa khusus karena dilengkapi dengan modul-modul tambahan yang akan dijelaskan lebih lanjut pada bagian selanjutnya. Saat buku ini mulai ditulis, versi rilis terakhir adalah PowerWorld Simulator 16, yang menawarkan lebih banyak kemudahan dalam penggunaan, lebih banyak analisa, dan tampilan visual yang semakin baik. Namun demikian, versi-versi selanjutnya juga dimungkinkan untuk dirilis dalam waktu yang tidak terlalu lama sejak rilis versi terakhir.

PowerWorld Simulator mencakup beberapa modul yang terintegrasi secara komprehensif dengan kekuatan utama terletak pada aplikasi *Power Flow Solution* sehingga mampu menjalankan analisis hingga 100.000 bus. Tidak seperti perangkat lunak simulasi sistem tenaga listrik lainnya yang hanya menampilkan deretan angka-

angka hasil analisis ataupun diagram segaris (*single line diagram*) yang hanya menjadi representasi teknis sistem yang sedang dianalisa, PowerWorld Simulator dapat menampilkan visualisasi sistem yang dianalisa melalui penggunaan diagram segaris-*animated full-color* yang dilengkapi dengan fungsi *zooming* dan *panning*. Melalui penggunaan fungsi *zooming*, pengguna dapat menyesuaikan ukuran area tampilan layar monitor, misalnya untuk diagram segaris dengan cara mengubah besarnya tampilan. Untuk memperoleh tampilan diagram segaris yang lebih besar dapat digunakan fungsi *zoom-in*, sedangkan untuk menampilkan keseluruhan diagram segaris, atau dengan kata lain memperbesar jangkauan tampilan layar monitor, pengguna dapat memanfaatkan fungsi *zoom-out*. Sementara itu, dengan memanfaatkan fungsi *panning*, pengguna dapat menggerakkan titik fokus layar monitor pada sebuah diagram segaris. Pengguna juga dapat menggeser fokus layar monitor ke atas, bawah, dan ke samping kanan atau kiri untuk menampilkan bagian-bagian diagram segaris yang ingin diamati.

Pada PowerWorld Simulator, pemodelan sistem tenaga listrik dapat dilakukan dengan menggunakan fungsi *graphical case editor*. Jaringan transmisi, misalnya, dapat dihubungkan atau dikeluarkan dari sistem, jaringan transmisi atau pembangkit baru dapat ditambahkan, demikian pula untuk aktifitas penyaluran daya (*power dispatch*) dengan hanya meng-klik *mouse*. Dengan penggunaan animasi dan grafis yang maksimal, pengguna dapat memperoleh pemahaman yang baik tentang karakteristik sistem, permasalahan, batasan-batasan, maupun bagaimana cara memperbaiki kondisi atau meningkatkan keandalan sistem secara lebih mudah. Untuk aplikasi dasar, PowerWorld Simulator 16 dapat melakukan analisis *integrated economic dispatch*, analisis transaksi ekonomi per area, komputasi *Power Transfer Distribution Factor* (PTDF), analisis hubung singkat, dan analisis kontingensi. Semua aplikasi ini dapat diakses dengan mudah melalui fasilitas antar muka yang tervisualisasi. Sebagai tambahan, beberapa *Add-on* telah tersedia yang memungkinkan pengguna dapat melakukan analisis khusus, diantaranya:

Voltage Adequacy and Stability Tool (PVQV): Fitur *Add-on* ini memungkinkan pengguna untuk menganalisis stabilitas tegangan sistem melalui simulasi PVQV. Selanjutnya, pengguna dapat memperoleh tampilan grafik dari parameter-parameter sistem.

Optimal Power Flow Tool (OPF): Fitur *Add-on* ini bertujuan untuk menghasilkan optimalisasi (minimisasi) fungsi objektif, biasanya dengan meminimisasi biaya melalui algoritma *Linear Programming*. Algoritma ini menentukan solusi optimal secara iteratif antara penyelesaian analisis aliran daya (*standard power flow*) dan penyelesaian program linier untuk mengubah kontrol pada sistem sehingga dengan demikian pelanggaran batas-batas (*limit violation*) dapat ditidakan

Security Constraint Optimal Power Flow (SCOPF): Bila meminimisasi sebuah fungsi objektif (biasanya biaya operasional sistem) dapat diperoleh menggunakan fitur OPF dengan cara mengganti kontrol sistem sementara tetap memenuhi batasan keseimbangan daya (*power balance constraint*) dan memenuhi *limit* operasional *base casenya*, fitur SCOPF dapat melakukan fungsi yang sama dengan mempertimbangkan resiko kontingensi yang dapat terjadi selama masa operasional sistem.

Optimal Power Flow Reserves (OPFR): Fitur ini digunakan untuk mensimulasikan *Ancillary Services Reserve Market*, sebuah keadaan yang dapat terjadi pada sistem *unbundling*, dimana listrik merupakan sebuah komoditas yang ditransaksikan setiap hari layaknya bursa.

Available Transfer Capability Tool (ATC): Fitur ini memungkinkan pengguna mengetahui daya maksimum yang dapat ditransfer antara dua bagian sistem tenaga listrik tanpa melanggar batasan-batasan operasionalnya (*limits violation*).

PowerWorld Simulator Automation Server (SimAuto): Fitur ini memungkinkan pengguna untuk mengakses fungsi-fungsi dari simulator yang dibuat secara eksternal oleh pengguna. SimAuto bertindak sebagai sebuah COM Object yang dapat diakses dari berbagai macam bahasa pemrograman yang mempunyai kompatibilitas COM, diantaranya Borland Delphi, Microsoft Visual C++, Microsoft Visual Basic, dan Matlab.

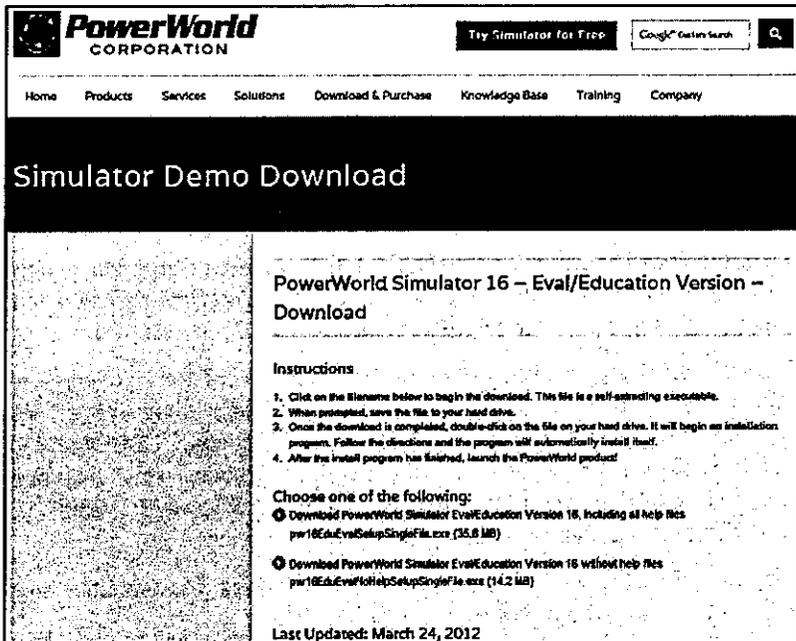
Transient Stability (TS): Fitur ini digunakan untuk menganalisis respon sistem dinamis terhadap adanya gangguan pada sistem.

Dari beberapa *Add-on* yang telah dikemukakan di atas, Ada tiga *Add-on* analisis yang sering digunakan, yaitu *Available Transfer Capability (ATC)*, *Optimal Power Flow (OPF)*, dan *PVQV*. *Add-on* OPF akan dijelaskan lebih lanjut pada Bab 4. Bagian selanjutnya dari bab ini akan membahas cara memulai bekerja dengan PowerWorld Simulator dengan terlebih dahulu membahas cara mengunduh, *install*, dan mengeksplorasi fasilitas antarmuka yang tersedia.

1.1 Memulai bekerja dengan PowerWorld Simulator

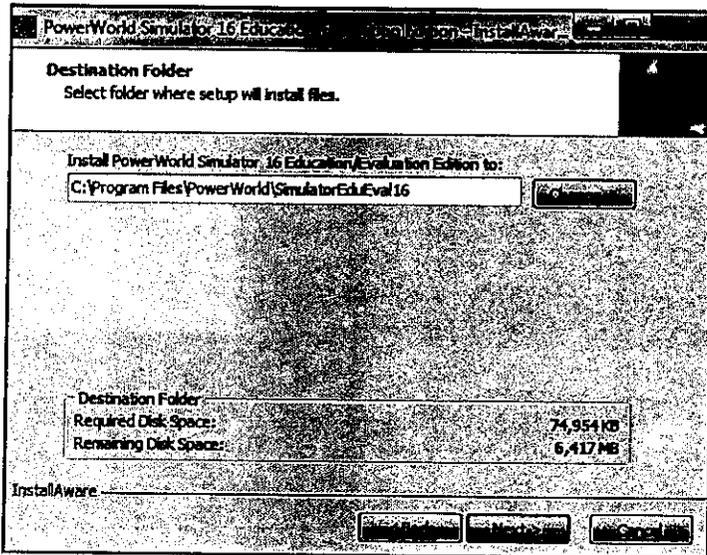
Sub-bab ini akan membahas cara mengunduh, *install*, dan mengeksplorasi perangkat lunak ini. Untuk dapat menggunakan PowerWorld Simulator, kita dapat mengakses laman <http://www.powerworld.com>. Selanjutnya, pada deretan *tab option* yang memuat pilihan *Home* dan seterusnya, pilih *Download and Purchase*, dan klik *Demo Software*. Selanjutnya akan muncul pilihan produk pada laman baru dengan judul laman *Demo Software*. Untuk mendapatkan *download link*, klik kiri pada tulisan PowerWorld Simulator – Version 16. Selanjutnya kita akan diminta untuk mengisi form biodata termasuk alamat email. *Download link* akan

dikirim melalui alamat email yang kita isikan. Kita juga bisa langsung mengakses *link* ini pada *browser* internet dengan mengetikkan: <http://www.powerworld.com/download-purchase/demo-software/simulator-demo-download>. Sebagian tampilan *link* ini seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 1. Tampilan laman untuk mengunduh PowerWorld Simulator versi 16.

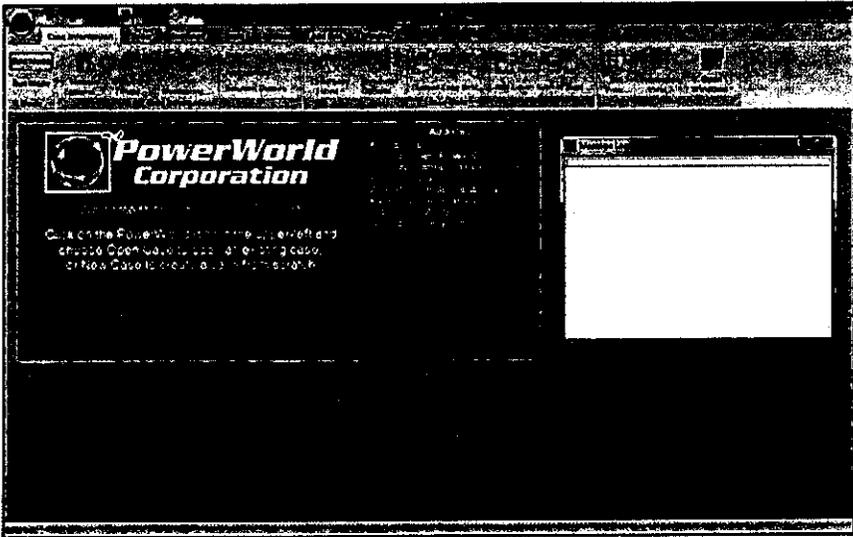
Kita dapat memilih untuk mengunduh PowerWorld Simulator dengan atau tanpa *help files* dengan ukuran file masing-masing 35.8 MB dan 14.2 MB. Setelah *file* yang bernama *pw16EduEvalSetupSingleFile* yang berekstensi *.exe* berhasil diunduh, langkah selanjutnya adalah *install file* tersebut sebagai program *file*. Urutan instalasi sama seperti apabila kita *install* program aplikasi pada umumnya. Pertama-tama akan muncul *dialog window* “welcome”. Klik *next* akan membawa kita pada *dialog window* “licence agreement”. Tandai kotak disamping tulisan “I accept the terms of the licence agreement” dan klik *next*. Setelah kita menginputkan informasi *user* dan *organization* pada *dialog window* berikutnya, klik *next*. Selanjutnya, akan ada pilihan tipe instalasi (*Setup type*). Untuk dapat memanfaatkan seluruh fitur, pilihlah “complete” dan klik *next* hingga tampilan *dialog window* “Destination Folder” muncul seperti pada gambar berikut.



Gambar 2. Dialog window yang menunjukkan direktori instalasi

Selanjutnya *dialog window* yang akan muncul adalah “*Select Program Folder*”, yang memverifikasi nama *folder* program. Jika anda tidak ingin mengubah nama *folder* dan menginginkan agar aplikasi ini diinstall dan dapat digunakan oleh semua *user* pada komputer kita, klik *next*, dan proses instalasi (konfigurasi) akan berlanjut. *Dialog window* terakhir yang akan muncul sebelum proses konfigurasi dimulai adalah pemberitahuan *Install Aware Wizard* telah selesai dan proses siap dilanjutkan dengan konfigurasi. Jika kita sudah yakin dengan *setting* yang dibuat, klik *next* untuk memulai proses konfigurasi. Jika proses konfigurasi berhasil dijalankan, maka akan muncul *dialog window* yang menyatakan proses instalasi telah selesai. Klik *Finish* dan aplikasi PowerWorld Simulator Versi 16 siap dijalankan.

Untuk menjalankan aplikasi simulator, jika kita menggunakan sistem operasi Windows 7, klik logo windows pada sisi kiri bawah *toolbar*, lalu arahkan kursor dan klik pada Simulator 16 Edu-Eval. Tampilan antarmuka simulator akan nampak pada layar komputer seperti pada gambar berikut ini.



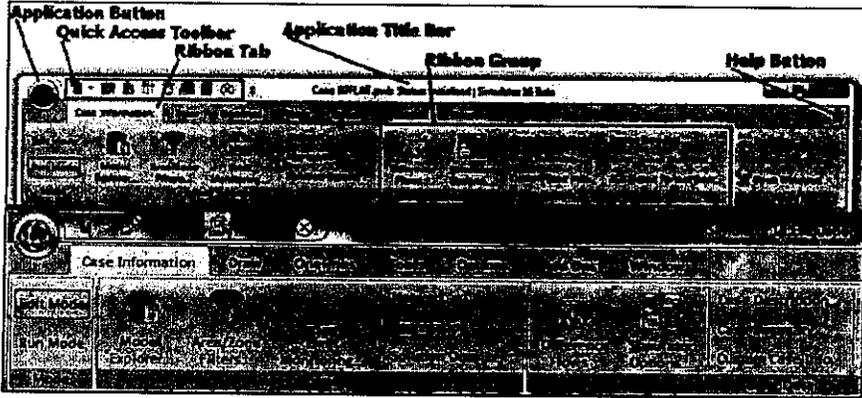
Gambar 3. Tampilan antarmuka PowerWorld Simulator 16 (Evaluation)

Secara umum, PowerWorld Simulator versi 16 (Evaluation) ini dilengkapi dengan kemampuan untuk menjalankan beberapa *Add-on* seperti yang terlihat pada Gambar 3. Terdapat pula *dialog window* "Message Log", dimana pengguna dapat memperoleh informasi detail hasil dari setiap solusi aliran daya (*power flow*) berupa catatan proses iterasi. Disamping itu, pengguna juga akan mendapat catatan pesan melalui *dialog window* ini sewaktu berbagai analisis dilakukan, seperti membuka atau memvalidasi suatu studi kasus. "Message Log" akan menampilkan catatan pesan dengan warna *background* pada tulisan yang berbeda untuk memudahkan pengguna mengidentifikasi proses apa yang sedang terjadi. Untuk menampilkan "Message Log", arahkan kursor ke tab *Tools Ribbon* dan klik tombol dengan tulisan *Log* pada kelompok *Log ribbon*. Apa itu *ribbon*? Istilah *ribbon* digunakan bersama dengan istilah lainnya untuk memudahkan pengguna mengakses fungsi-fungsi simulator.

Bagian-bagian dari tampilan antarmuka ditunjukkan pada Gambar 4. Fasilitas fitur yang terdapat pada antarmuka terdiri dari *Application Button*

- *Quick Access Toolbar*
- *Ribbon Tab*
- *Application Title Bar*
- *Ribbon Group*
- *Help Button.*

Bagian-bagian antarmuka ini sebaiknya terlebih dulu dipahami sebelum kita dapat membuat sebuah *file* studi kasus baru membuka *existing file*, dan memanfaatkan berbagai analisa. Agar kita dapat memahami bagian-bagian dari tampilan antarmuka pada simulator ini dengan lebih baik, silakan meneruskan dengan pembahasan pada bab berikutnya.



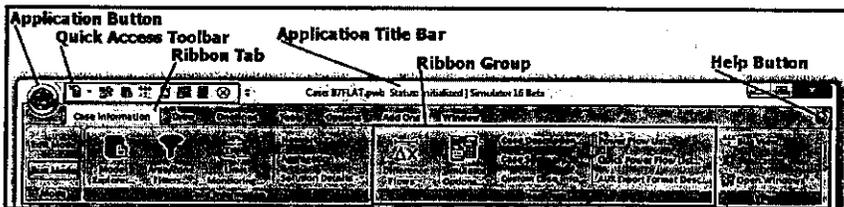
Gambar 4. Sebagian tampilan antarmuka pada untuk mengakses fungsi simulator

MEMAHAMI TAMPILAN ANTARMUKA

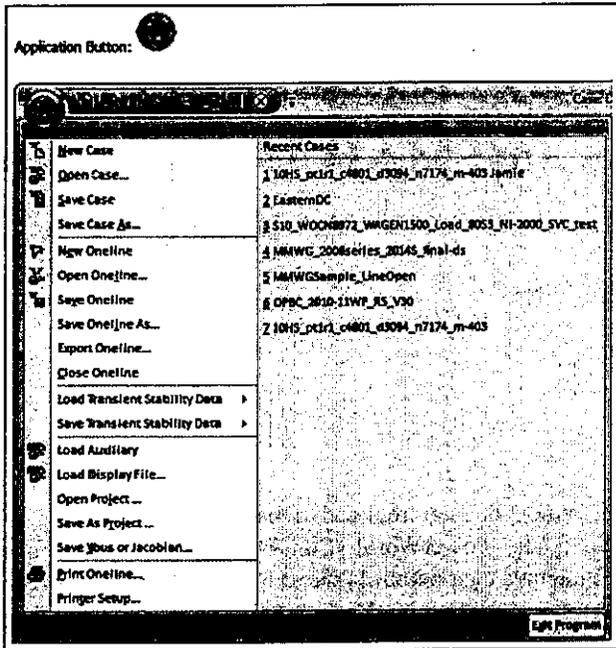
Pada bab ini, tampilan antar muka dari beberapa fitur penting yang dapat dimanfaatkan pada PowerWorld Simulator khususnya versi 16 akan dikemukakan. Tujuannya agar pembaca dapat mengenal dan memahami tampilan yang digunakan dan selanjutnya dapat menjalankan simulasi dengan baik. Pertama-tama, kita harus mengenal tampilan *Application File Menu*. Pada menu ini, kita dapat:

- Membuka dan menyimpan *cases* atau diagram segaris
- Membuat *case* baru
- Membuka dan menampilkan file *auxiliary*
- Mencetak
- Keluar atau menutup aplikasi simulator

Untuk mengakses menu ini, kita harus meng-klik *Application button* pada sisi kiri atas program aplikasi PowerWorld Simulator, seperti yang terlihat pada gambar berikut ini.



Gambar 1. Ribbon Tab dan Ribbon Group pada tampilan antarmuka PowerWorld Simulator versi 16 (Evaluation)



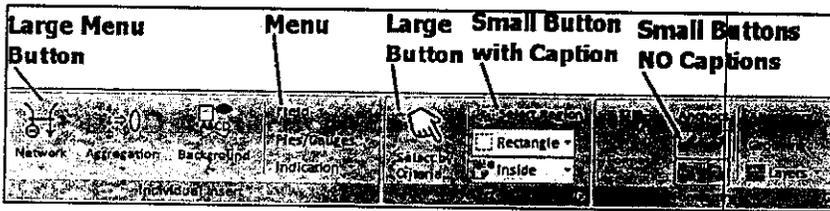
Gambar 2. Tampilan Application File Menu dan Application Button

Seperti terlihat pada Gambar 1, tampilan antar muka PowerWorld Simulator 16 terdiri atas *ribbon* (pita melintang yang terdapat pada sisi atas program). *Ribbon* terdiri atas beberapa *ribbon tab* yang mengelompokkan fitur-fitur yang digunakan bersama-sama, yaitu:

- *Ribbon tab Case Information*
- *Ribbon tab Draw*
- *Ribbon tab Onelines*
- *Ribbon tab Options*
- *Ribbon tab Tools*
- *Ribbon tab Add Ons*
- *Ribbon tab Windows*

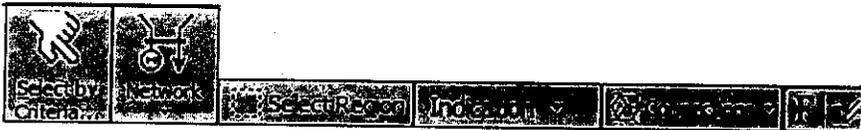
Di dalam sebuah *ribbon tab*, terdapat 4 hingga 7 kelompok yang disebut *ribbon group*. Pada Gambar 3 diperlihatkan tiga *ribbon group*, dengan beragam *button* dan menu yang tersedia, yaitu:

- *Individual Insert*
- *Select*
- *Formatting*



Gambar 3. Tampilan ribbon group Individual Insert, Select, dan Formatting

Ribbon group menggabungkan bermacam-macam button dan menu yang saling terkait satu sama lain. Button dan icon yang berukuran besar digunakan untuk membedakan fungsinya dari yang lain dan lebih mudah terlihat oleh pengguna dan menandakan bahwa button ini pada umumnya akan cukup sering digunakan. Berikut ini merupakan button dan icon yang digunakan pada ribbon group.



Gambar 4. Dari kiri ke kanan: Button besar, button menu besar, button kecil dengan caption, button menu kecil, button kecil tanpa caption, menu only caption

Sementara itu, meng-klik *help button* yang terletak pada sudut kanan ribbon akan membawa pengguna masuk *online help*. *Quick Access Toolbar* yang terdapat pada sisi kiri atas ribbon (di dekat *Application button*) berisi button kecil tanpa caption yang selalu tampak.

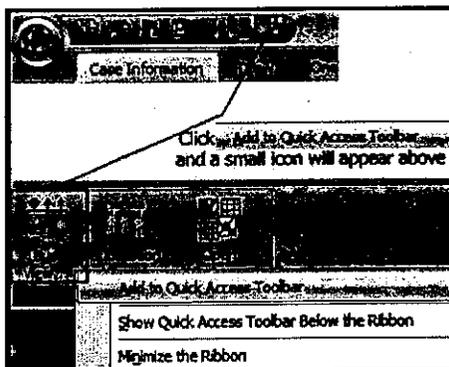
2.1 Quick Access Toolbar

Toolbar ini menyediakan akses cepat pada button yang sering digunakan. Kumpulan button ini dapat ditemukan pada sisi kiri atas di sebelah kanan *Application button*. Terdapat 8 default button dari kiri ke kanan sebagai berikut:

- Save Case
- Open Auxiliary File
- Model Explorer
- Display Bus View
- Message Log
- Simulator Options
- Single Solution
- Abort

Toolbar ini juga dapat *customized*. Jika kita mempunyai *button* yang ingin kita akses dengan cepat:

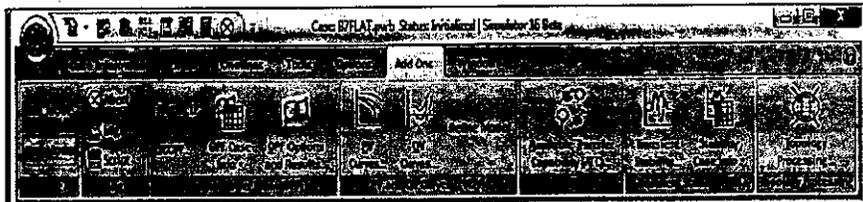
- Klik kanan pada *button* tersebut
- Pilih *Add to Quick Access Toolbar* seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Cara mengganti *button* pada *Quick Access Toolbar*

2.2 Ribbon tab Add Ons

Ribbon tab ini terdiri dari *button* dan menu yang mengakses berbagai *Add On tools* yang disediakan pada simulator. Tampilan *ribbon* ini tampak seperti pada Gambar 6 ketika simulator terkonfigurasi untuk *Add Ons* seperti OPF, SCOPF, PVQV, ATC, Transient Stability dan *Topology Processing*.



Gambar 6. Tampilan *ribbon tab Add Ons* yang telah terkonfigurasi

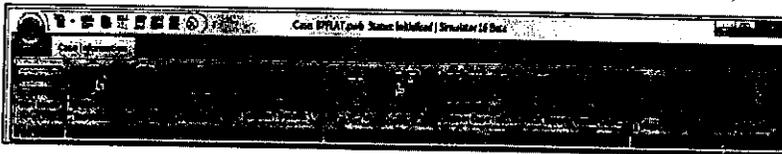
Ribbon tab ini terbagi menjadi 7 *ribbon group*, yaitu:

- *Ribbon group Mode*: terdiri dari *button Edit Mode* dan *Run Mode*.
- *Ribbon group Log*: terdiri dari menu *Abort*, *Log*, dan *Script*.
- *Ribbon group Optimal Power Flow (OPF)*: terdiri dari menu *Primal LP*, *Security Constrained LPF*, *OPF Options and Results*, dan *OPF Case Info Menu*.
- *Ribbon group PV and QV Curve (PVQV)*: terdiri dari menu *PV Curves*, *QV Curves*, dan *Refine Model*.

- *Ribbon group Transient Stability (TS)*: terdiri dari menu untuk membuka *dialog window TS* dan *Stability Case Info Menu*. Langkah untuk mengakses menu TS:
 - Kita dapat mengakses ribbon tab *Add Ons*
 - Pilih *Transient Stability* yang terdapat pada ribbon group *Transient Stability (TS)*.
- *Ribbon group Topology Processing*: terdiri dari menu untuk membuka *dialog window Topology Processing Dialog*, terdiri dari pilihan untuk:
 - Melakukan analisis aliran daya (*Power Flow Using Topology Processing*)
 - Melakukan analisis kontingensi (*Contingency Analysis Using Topology Processing*)
 - *Saving the Consolidated Case*.
- *Ribbon group Available Transfer Capability*: terdiri dari menu untuk membuka *window dialog Available Transfer Capability (ATC)*, yang merupakan antar muka untuk melakukan analisis ATC dan melihat hasilnya. *Dialog window* ini terbagi menjadi 3 menu, yaitu:
 - *Options*
 - *Analysis*
 - *Result*

2.3 Ribbon tab Case Information

Ribbon tab ini terdiri dari button dan menu yang menyediakan akses terhadap informasi mengenai pemodelan sistem tenaga listrik yang sedang dideveloped. Tampilan dari ribbon tab ini dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 7. Tampilan ribbon tab Case Information

Ribbon tab ini terbagi menjadi 4 *ribbon group*, yaitu:

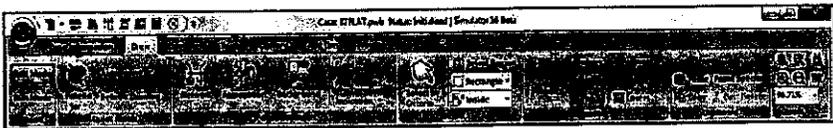
- *Ribbon group Mode*, terdiri dari *button Edit Mode* dan *Run Mode*.
 - *Edit Mode* digunakan untuk membuat dan memodifikasi sebuah *case*.
 - *Run Mode* digunakan untuk menjalankan simulasi aliran daya.
- *Ribbon group Case Information*, terdiri dari:
 - *Button Model Explorer* yang memberikan akses terhadap seluruh display informasi model yang sedang dibuat

14 ■ Visualisasi Sistem Tenaga Listrik

- *Button Area/Zone Filters* yang memungkinkan pembuatan area/zone pada diagram segaris
- *Button Limit Monitoring* untuk memilih parameter apa yang hendak dimonitor
- *Button menu* untuk *Network, Aggregation, and Filters, Expression*, dan sebagainya.
- *Ribbon group Case Data*, terdiri dari:
 - *Button windows dialog Difference Flows*
 - *Simulator Options*
 - *Case Description*
 - *Case Summary*
 - *Custom Case Info*
 - *Power Flow List*
 - *AUX Export Format Desc.*
- *Ribbon group Views*, terdiri dari:
 - *Button Bus View* yang memberikan akses terhadap informasi data bus dan objek yang terhubung dengan bus dalam bentuk display grafis
 - *Button Substation View*
 - *Button Open Windows Menu*

2.4 Ribbon tab Draw

Ribbon tab Draw digunakan untuk menggambar diagram segaris baru atau mengedit diagram segaris yang telah ada dengan menambahkan, memindahkan, memformat, atau mengubah ukuran objek pada diagram segaris. Sebagian pilihan (*options*) yang ada pada *ribbon tab* ini hanya tersedia pada *Edit Mode*. Tampilan *ribbon tab Draw* akan tampak seperti pada Gambar 8.



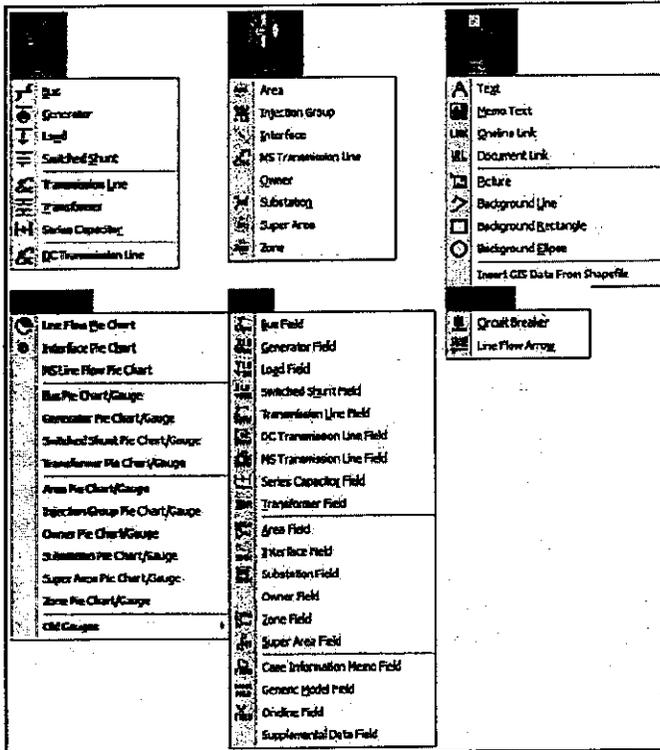
Gambar 8. Tampilan ribbon tab Draw

Ribbon tab ini didukung oleh 7 *ribbon group*, yaitu:

- *Ribbon group Mode*, terdiri dari *Edit Mode* dan *Run Mode*.
 - *Edit Mode* digunakan untuk membuat case baru atau memodifikasi case yang telah ada.
 - *Run Mode* digunakan untuk menjalankan simulasi aliran daya.

- *Ribbon group Quick Insert*, terdiri dari *button* untuk membuat sebuah diagram segaris dari sebuah model sistem yang telah dibaca oleh simulator.
- *Ribbon group Individual Insert*, terdiri dari menu yang menyediakan akses terhadap *button* untuk menempatkan objek pada diagram segaris. Terdapat 6 menu pada *ribbon group* ini yang mengkategorisasikan objek yang dapat ditempatkan pada diagram segaris sebagai berikut:
 - *Network Menu*: objek pada menu ini merepresentasikan model objek pada diagram segaris, misalnya generator dan saluran transmisi, yang menyerupai model objek yang terletak di *Folder Network* pada *Explore Pane (Model Explorer)*.
 - *Aggregation Menu*: objek pada menu ini merepresentasikan agregat dari model objek lainnya seperti antarmuka dan *injection group*, yang menyerupai data objek yang terletak di *Folder Aggregation* yang terdapat pada *Explore Pane (Model Explorer)*.
 - *Background Menu*: objek pada menu ini merepresentasikan *background text* dan tidak terhubung pada objek lain yang terdapat pada *Model Explorer*. Beberapa objek terhubung dengan objek eksternal namun bukan merupakan elemen sebuah model.
 - *Pies/Gauges Menu*: objek pada menu ini merepresentasikan *pie chart* atau *gauges* yang terhubung dengan data model pada *Model Explorer*.
 - *Field Menu*: objek pada menu ini merepresentasikan *field* yang terhubung dengan data model pada *Model Explorer*.
 - *Indication Menu*: objek pada menu ini merepresentasikan indikasi status pada data model (*Model Explorer*).

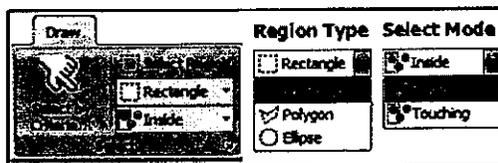
Berikut ini merupakan tampilan dari menu-menu yang terdapat pada *Ribbon group Individual Insert*.



Gambar 9. Menu yang terdapat pada Ribbon group Individual Insert

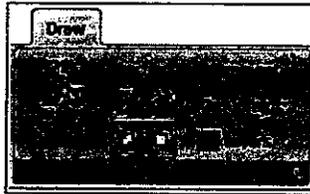
- **Ribbon group Select**, memuat pilihan untuk membantu pengguna memilih banyak objek diagram segaris secara simultan. Fitur-fitur yang tersedia pada **ribbon group** ini hanya tersedia pada kondisi *Edit Mode*, diantaranya:
 - *Select by Criteria*
 - *Select Region*
 - *Region Type*
 - *Select Mode*

Tampilan **ribbon group Select** dapat dilihat pada gambar berikut ini.



- *Ribbon group Formatting*, memuat pilihan untuk memformat objek yang telah ditentukan pada diagram segaris yang sedang aktif ketika kita bekerja dengan *Edit Mode*. Kita dapat mengontrol atribut objek seperti *font*, *color*, *line styles*, *zoom-dependent visibility*, dan *display layer level*. *Button* yang tersedia antara lain:
 - *Format Buttons*
 - *Anchors*
 - *Alignment Menu*
 - *Grouping Menu*
 - *Layers Menu*

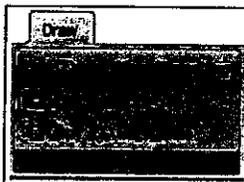
Tampilan dari *ribbon group* dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.11. Tampilan ribbon group *Formatting*

- *Ribbon group Clipboard*, memuat pilihan untuk meng-*copy* dan *pasting* objek diagram segaris ketika kita sedang berada pada *Edit Mode*. *Ribbon group* ini juga menyediakan akses untuk *Undo drawing*. *Button* yang tersedia antara lain:
 - *Undo*
 - *Paste*
 - *Paste Special*
 - *Copy*
 - *Cut*
 - *Delete*

Tampilan dari *ribbon group* ini dapat dilihat pada Gambar 12.

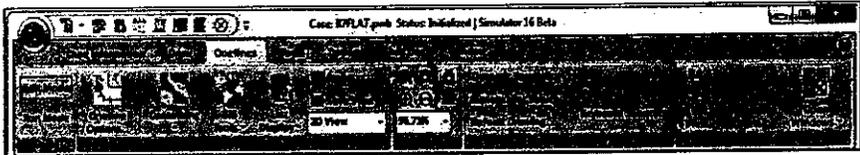


Gambar 12. Tampilan ribbon group *Clipboard*

- *Ribbon group Zoom*, memuat *button* untuk navigasi diagram segaris.

2.5 Ribbon tab Onelines

Ribbon tab ini memuat *button* dan *menu* yang dapat digunakan untuk meng-*customize* tampilan diagram satu garis setelah sebuah diagram segaris telah selesai dibuat. Tampilan *ribbon tab* ini dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 13. Tampilan Ribbon Tab Onelines

Ribbon tab ini terdiri dari 5 *ribbon group*, yaitu:

- *Ribbon group Mode*: terdiri atas *button Edit Mode* dan *Run Mode*.
- *Ribbon group Active*, terdiri dari *button* untuk membuka *Window dialog: Online Display Options*
 - *Contouring and Menu*
 - *GIS Tools Menu*
 - *List Displays Menu*
 - *Layers Menu*
 - *Save View*
 - *2D View/3D View*

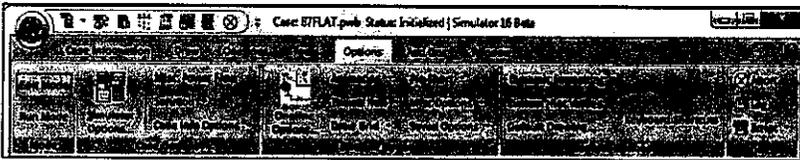
Semua *menu* ini digunakan sebagai metode dasar untuk meng-*customize* tampilan diagram segaris.

- *Ribbon group Zoom*, memuat *button* untuk navigasi diagram segaris. *Toolbar* ini terdiri dari beberapa *button* untuk keperluan *zooming* diagram segaris, diantaranya:
 - *Zoom Area In/Out*
 - *Zoom In/Out*
 - *Present Zoom Level*
 - *Show Full*
 - *Find*
- *Ribbon group General Options*, menyediakan akses terhadap beberapa *menu*, antara lain:
 - *Dynamic Formatting Menu*
 - *Custom Hint Values*
 - *Default Drawing Values*
 - *Toggle Full Screen*
 - *Keyboard Shortcuts*

- *Ribbon group Views*, terdiri dari *button Bus View* yang memberikan akses terhadap informasi data bus dan objek yang terhubung dengan bus dalam bentuk displai grafis, *button Substation View*, dan *button Open Windows Menu*.

2.6 Ribbon Tab Options

Ribbon tab ini terdiri dari *button* dan *menu* yang menyediakan akses untuk meng-customized simulator. Semua *button* yang ada pada *ribbon* ini juga tersedia pada *ribbon* lainnya. Tampilan *ribbon tab* ini dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 14. Tampilan Ribbon Tab Options

Ribbon tab ini terbagi menjadi 4 *ribbon group*, antara lain:

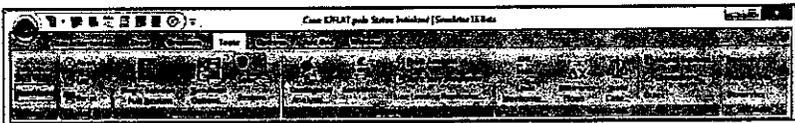
- *Ribbon group Mode*, terdiri dari *button Edit Mode* dan *Run Mode*.
- *Ribbon group Case Options*, terdiri dari *button* untuk membuka *window dialog*:
 - *Simulator Options*
 - *Misc. Power Flow menu*
 - *Solution Menu*
 - *Case Info Options Menu*
- *Ribbon group Online Options*, terdiri dari *button* untuk membuka:
 - *Online Display Options*
 - *Pie Chart Menu*
 - *Animation Menu*
 - *Thumb Nail Menu*
 - *Draw Grid Menu*
 - *Misc. Options Menu*
 - *Saved Options Menu*
 - *Save Options to Case*
- *Ribbon group General Options*, terdiri dari *button* untuk mengakses:
 - *Dynamic Formatting Menu*
 - *Custom Hint Values*
 - *Default Drawing Values*
 - *Toggle Full Screen*
 - *Keyboard Shortcuts*

2.7 Ribbon Tab Tools

Ribbon tab ini menyediakan akses pada semua *tool* analisis yang tersedia pada PowerWorld Simulator. *Ribbon* ini digunakan ketika kita melakukan analisa:

- Aliran daya
- Analisa kontingensi
- Analisa sensitifitas

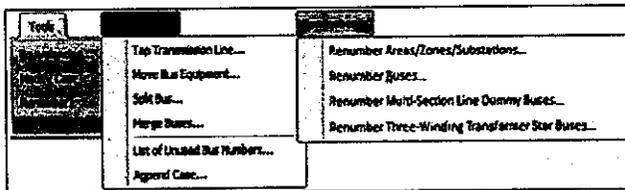
Tampilan dari *ribbon tab* ini dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 15. Tampilan Ribbon Tab Tools

Ribbon tab ini terbagi menjadi 6 *ribbon group*, antara lain:

- *Ribbon group Mode*, terdiri dari *button Edit Mode* dan *Run Mode*.
- *Ribbon group Log*, terdiri dari *button*:
 - *Abort* (untuk menghentikan simulasi aliran daya)
 - *Log* (untuk mengubah tampilan *window dialog message log*)
 - *Script* (untuk memanggil *script commands* atau untuk membuka *auxiliary files* yang berisi *script command* dan modifikasi data)
- *Ribbon group Edit Mode*, memuat *tool* analisis dasar yang hanya dapat diakses pada kondisi *Edit Mode*. Tampilan *ribbon group* ini dapat dilihat pada gambar berikut ini.

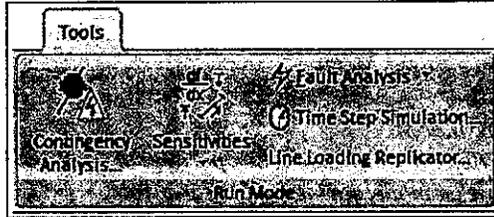


Gambar 16. Tampilan Ribbon Group Edit Mode

Menu yang tersedia pada *ribbon group* ini antara lain:

- *Equivalencing*
- *Modify Case Menu*, terdiri dari beberapa *button* untuk memodifikasi model jaringan (*membuka window dialog Tap Transmission Line, Move Bus Equipment, Split Bus, Merge Buses, List of Unused Bus Numbers,*

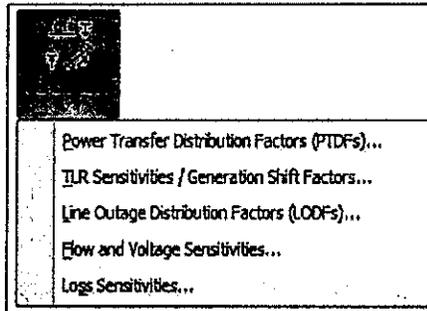
- *Renumber Menu*, terdiri dari button yang dapat digunakan untuk memberi penomoran ulang (*renumbering*) data pada model diantaranya:
 - Renumber Areas/Zones/Substations
 - Renumber Buses
 - Renumber Three-Winding Transformer Star Buses
- *Ribbon group Run Mode*, memuat *tool* analisis dasar yang hanya dapat diakses pada kondisi *Run Mode*. Tampilan *ribbon group* ini dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 17. Tampilan Ribbon Group Run Mode

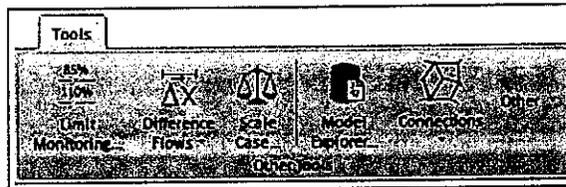
Ribbon group ini terdiri dari beberapa *button*, antara lain:

- *Contingency Analysis*
- *Sensitivities Menu*, terdiri dari list yang menyediakan akses untuk melakukan analisis sensitifitas.



Gambar 18. Tampilan Button Sensitivities

- *Fault Analysis*
- *Time Step Simulation*
- *Line Loading Replicator*
- *Ribbon group Other Tools*, terdiri dari perangkat analisis dasar yang dapat diakses baik pada *Run Mode* maupun *Edit Mode*. Tampilan *ribbon group* ini dapat dilihat pada gambar berikut ini.

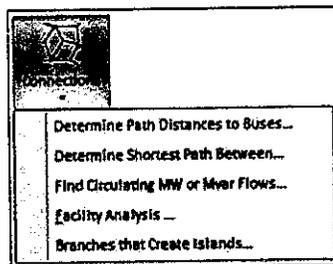


Gambar 19. Tampilan Ribbon Group Other Tools

Ribbon group ini terdiri dari beberapa button antara lain:

- *Limit Monitoring Settings*
- *Difference Flows Menu*
- *Scale Case*
- *Model Explorer*
- *Connections Menu, terdiri dari perangkat yang terkait dengan analisis interkoneksi model jaringan diantaranya:*
 - *Determine Path Distances to Buses*
 - *Determine Shortest Path Beetwen*
 - *Find Circulating MW or Mvar Flows*
 - *Facility Analysis*
 - *Branches that Create Islands*

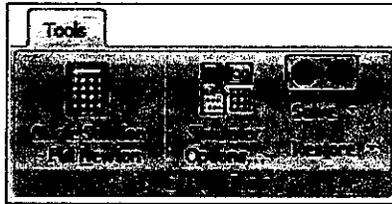
Tampilan button Connections Menu dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 20. Tampilan button Connections Menu pada Ribbon Group Other Tools

- *Other Menu, terdiri dari beberapa fitur antara lain:*
 - *Governor Power Flow*
 - *Set Generator Part. Factors*
 - *Set Selected Field for Network Cut*
 - *Set Selected From Selection*
 - *Create New Areas from Islands*
 - *Charts Menu*

- *Ribbon group Power Flow Tools*, menyediakan fungsi utama Simulator yaitu mensimulasikan operasional sistem tenaga listrik, utamanya adalah analisis aliran daya (*Power Flow Solution*). Fungsi ini dapat diakses dengan cara:
 - *Akses ribbon tab Tools*
 - *Pilih ribbon group Power Flow Tools*
 - *Klik Single Solution – Full Newton* dari *Quick Access Toolbar* atau dari *ribbon group Power Flow Tools*. Tampilan dari *ribbon group* ini dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 21. *Tampilan Ribbon Group Power Flow Tools*

Ribbon group ini terdiri dari beberapa menu, antara lain:

- *Single Solution – Full Newton*
- *Simulator Options*
- *Play Button*
- *Pause/Stop Button*
- *Restore Menu*
- *Solve menu*, terdiri dari *Single Solution – Full Newton*, *Polar NR Power Flow*, *DC Power Flow*, *Reset to Flat Start*, dan *Robust Solution Process*.

2.8 Ribbon Tab Window

Ribbon tab ini terdiri dari *button* dan menu yang memungkinkan kita dapat mengakses perangkat untuk meng-*customized window* pada tampilan antar muka. Pada *ribbon* ini juga tersedia informasi berupa *help topics*. Tampilan antar muka dari *ribbon tab* ini dapat dilihat pada gambar berikut ini.



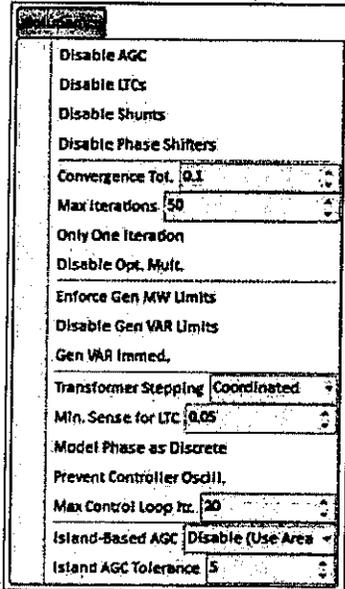
Gambar 22. *Tampilan Ribbon Tab Window*

Ribbon tab Window terbagi menjadi 4 *ribbon group* yaitu:

- *Ribbon group Mode*, terdiri dari *button Edit Mode* dan *Run Mode*.
- *Ribbon group Window*, terdiri dari *button*:
 - *Open Windows Menu*
 - *Switch to Free-Floating Windows (Switch to Standard Container Window)*
 - *Reset to Defaults*
 - *Refresh Displays*
 - *Ribbon Settings Menu*
 - *Arrange Windows*
 - *Toggle Full Screen*
- *Ribbon Group Help*, terdiri dari *button*:
 - *Contents*
 - *Set Help File*
 - *About*
 - *PowerWorld Website*
 - *Check for Updates*
- *Ribbon group Auxiliary File*, terdiri dari *button*:
 - *Load Auxiliary*
 - *Load Display Auxiliary File*
 - *Auxiliary File Format*
 - *Export Display Object Fields Menu*
 - *Export Case Object Fields Menu*

2.9 Solution Options Quick Menu

Menu ini menyediakan akses terhadap *setting* opsi atau parameter aliran daya melalui *dialog window Solution Options*. Tampilan dari menu ini dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 23. Tampilan Solution Options Quick Menu

Secara lengkap, setting opsi-opsi tersebut meliputi:

- *Solution Convergence Tolerance (MVA)*
- *Maximum Solution Iterations*
- *Maximum Outer Control Loop Iterations*
- *Enable/Disable Only One Iteration*
- *Enable/Disable Optimal Multiplier*
- *Enable/Disable Enforcing Generator MW Limits*
- *Enable/Disable Automatic Generation Control (ACE)*
- *Enable/Disable Generator MVAR Checking*
- *Enable/Disable Checking Generator MVAR Immediately*
- *Enable/Disable Switched Shunt Control*
- *Enable/Disable Transformer LTC Control*
- *Enable/Disable Phase Shifter Control*
- *Enable/Disable Modeling Phase Shifters as Discrete Controls*
- *Enable/Disable Preventing Controller Oscillations*
- *Set Island-Based AGC Control Type*
- *Set Island-Based AGC Tolerance (MW)*

BEKERJA DENGAN STUDI KASUS BARU

Pada bab ini, kita akan berlatih untuk membuat sebuah diagram segaris baru yang merepresentasikan sebuah sistem tenaga listrik. Bab ini terdiri dari dua bagian. Bagian pertama menjelaskan bagaimana membuat diagram segaris yang terdiri dari komponen-komponen semacam generator, *Bus*, beban, saluran transmisi, pemutus, dan peralatan kompensasi. Sementara itu bagian kedua berisi penjelasan bagaimana kita dapat memonitor simulasi dari sistem yang sudah dibuat. Agar pembaca dapat lebih memahami penjelasan yang diberikan, ada baiknya jika sambil membaca bab ini dapat langsung berlatih dengan *file* simulator yang sudah diinstall sebelumnya.

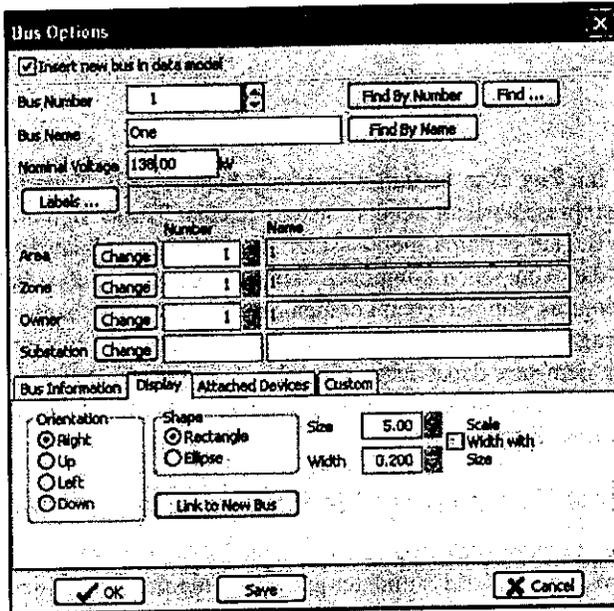
3.1 Membuat Sistem Tenaga Listrik Baru

Untuk memulai membuat sebuah sistem tenaga listrik baru, mula-mula kita dapat meng-klik *icon* PowerWorld Simulator pada layar monitor diikuti dengan memilih *New Case* pada *icon* PowerWorld Simulator di ujung kiri atas. Selanjutnya akan muncul sebuah *window* untuk menampilkan diagram satu garis dengan nama NewOne1.pwd. Pengguna dapat mulai menggambar atau membuat diagram satu garis pada *window* ini. Komponen yang paling penting dari sebuah pemodelan sistem tenaga listrik adalah *Bus*. *Bus* digunakan untuk merepresentasikan titik pertemuan dimana sejumlah peralatan terhubung satu sama lain. *Bus* yang terkoneksi satu dengan yang lain melalui saluran transmisi dan peralatan-peralatan yang menempel padanya membentuk sebuah diagram satu garis. Berikutnya, kita akan berlatih membuat *Bus*, generator, saluran transmisi, beban, kompensasi, transformator, *circuit breaker*, dan komponen-komponen monitoring aliran daya.

3.1.1 Membuat Bus

Untuk memodelkan dan menampilkan *Bus* pada diagram segaris, ikuti langkah-langkah berikut ini:

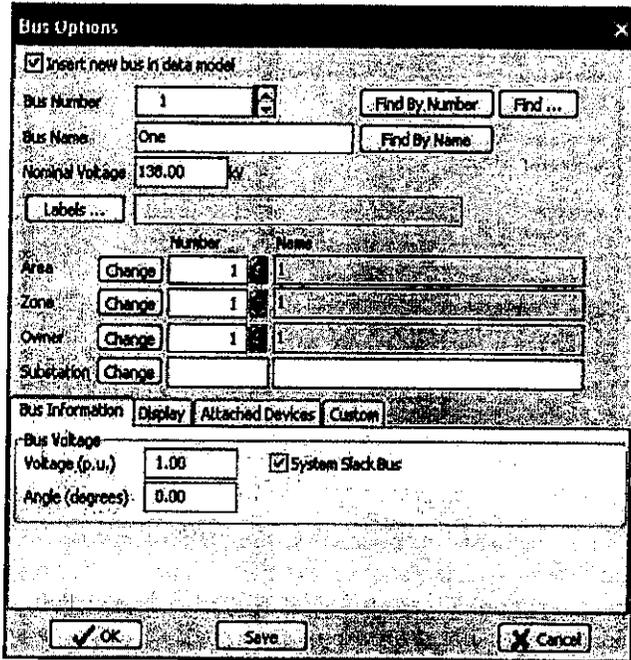
- Dari *ribbon group Individual Insert* pada *ribbon tab Draw*, pilih *Network* kemudian klik *Bus*
- Pada *window* dengan *background* putih (NewOne1.pwd), klik kiri untuk menempatkan *Bus* di lokasi yang diinginkan. Hal ini akan membuka *Bus Options dialog window*, yang digunakan untuk men-*setting* nama, orientasi, bentuk, ukuran, lebar, zona, tegangan nominal bus, dan jenis beban dan kompensasi *shunt* yang terkoneksi. Perhatikan Gambar 1.



Gambar 1. Sebuah dialog window untuk *Bus Options*

- Seperti yang terlihat pada Gambar 1, *field Bus Number* akan secara otomatis terisi angka satu. Pada simulator ini, setiap bus diharuskan mempunyai satu nama unik. Untuk memudahkan, ketikkan “One”.
- Kemudian, tandai (*check*) *field System Slack Bus* pada bagian *Bus Voltage* yang terdapat pada *tab Bus Information*, seperti yang ditampilkan pada Gambar 1. *Slack Bus* memastikan sistem tenaga yang kita buat akan sanggup memenuhi kebutuhan beban. Dengan kata lain, *Slack Bus* “*picked up the slack*” yang disebabkan oleh rugi-rugi pada sistem atau keadaan *unbalanced* pada

- Klik *Ok* pada *dialog window Bus Options* untuk mengakhiri proses membuat *Bus* baru. Setelah itu, *Bus* akan ditampilkan pada *window diagram* segaris, di lokasi yang diinginkan.

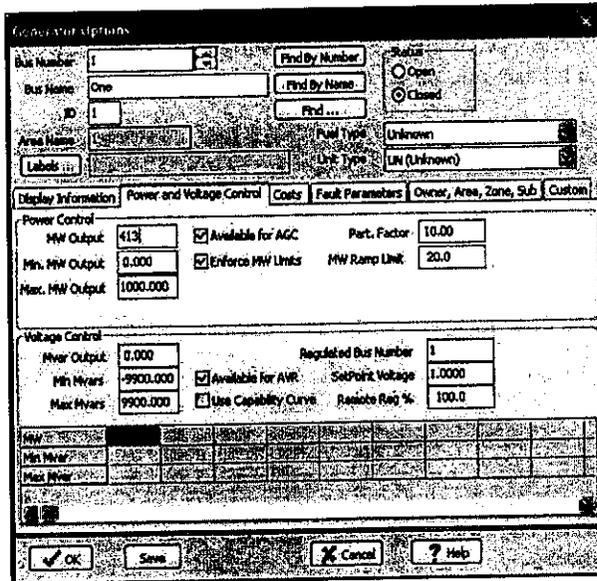


Gambar 2. Tab *Bus Information* untuk memilih *System Slack Bus*

3.1.2 Menambahkan Generator

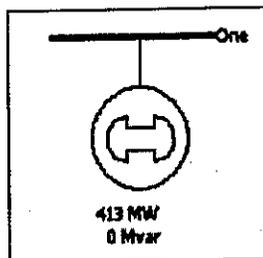
Untuk menempelkan/menambahkan generator pada sebuah *Bus*, ikuti langkah-langkah berikut ini:

- Dari *ribbon group Individual Insert* pada *ribbon tab Draw*, pilih *Network* kemudian klik *Generator*.
- Klik kiri pada *window diagram* segaris, yaitu pada *Bus One* untuk menempelkan *Bus*. Selanjutnya, *dialog window Generator Options Dialog* akan muncul secara otomatis seperti tampilan Gambar 3. Disini, kita dapat menentukan besaran-besaran yang berhubungan dengan generator seperti yang diinginkan, misalnya identifikasi unit generator, ukuran tampilan, orientasi, MW output dan limit, limit daya reaktif, *setting* tegangan, dan model biaya.



Gambar 3. Tampilan dialog window Generator Options

- Setiap generator harus mempunyai *setting MW output* ketika dimasukkan ke dalam sebuah sistem. Pastikan kita memilih *tab MW and Voltage Control*, dan ketikkan “413” pada *field MW Output*. Sebagai catatan: angka yang dimasukkan ini bersifat *arbitrary* (sesuka kita), karena pada kenyataannya nanti, *output* generator yang sebenarnya akan bergantung pada beban dan rugi-rugi.
- Kemudian, pilih *tab Display Information*. *Field Orientation* digunakan untuk menentukan arah generator terhadap Bus.
- Klik *Ok* pada *dialog window Generator Options*. Hal ini berarti kita menerima nilai-nilai yang telah dinyatakan pada *field* yang lain. Setelah itu akan muncul tampilan generator seperti pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Tampilan generator

Untuk menyimpan pekerjaan yang sudah dilakukan sejauh ini, dari *Application Button*, pilih *Save Case*. Jika *file* pekerjaan kita belum diberi nama, *dialog window Save As* akan muncul. Masukkan nama *file* yang diinginkan dan klik *Ok*. Selanjutnya kita akan menambahkan *Bus* ke-2. Silakan ikuti langkah-langkah berikut ini:

- Dari *ribbon tab Draw*, perhatikan *ribbon group Individual Insert*. Pilih *Network* dan selanjutnya *Bus*.
- Pada *window diagram* segaris dimana telah ada gambar generator dan *Bus 1*, klik di sebelah kanan dari *Bus 1* tersebut sehingga *dialog window Bus Options* muncul seperti pada Gambar 5. Terlihat bahwa *Bus Number* telah terisi dengan *default* angka 2. Pada *field Bus Name*, ketikkan “Two”.

3.1.3 Menambahkan Beban

Kita akan memodelkan sebuah beban yang terhubung pada *Bus 2* ini dengan daya aktif 200 MW dan daya reaktif 100 Mvar. Langkah-langkahnya sebagai berikut:

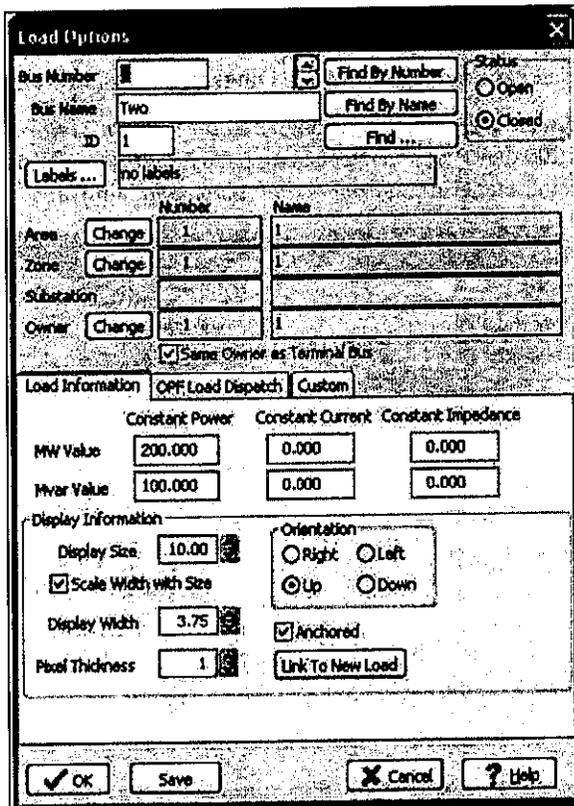
- Pilih *tab Attached Devices*. Pada bagian *Load Summary Information*, masukkan angka 200 dan 100, masing-masing pada *field Base MW* dan *Base Mvar*.
- Klik *Ok* untuk menerima *setting default* pada *field* lainnya.

Gambar 5. Tampilan dialog window *Bus Options* untuk input data *Bus 2*

Untuk menggambar beban pada diagram satu garis ini, ikuti langkah-langkah berikut ini:

- Dari *ribbon tab Draw*, perhatikan *ribbon group Individual Insert*. Pilih *Network* dan selanjutnya *Load*.
- Klik kiri pada bagian tengah dari *Bus* ini sehingga *dialog window Load Options* terbuka secara otomatis. Pada *window* ini, kita dapat melihat bahwa *field Constant Power MW* dan *Mvar* menunjukkan bahwa beban yang terpasang adalah masing-masing 200 MW dan 100 Mvar.

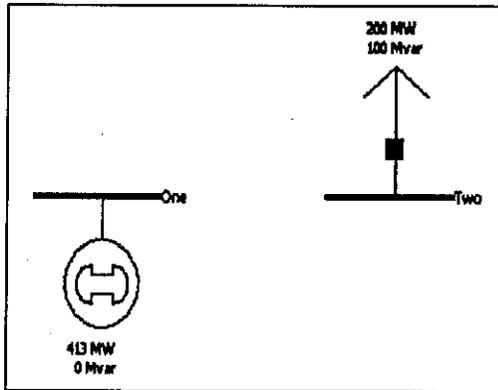
Disamping memodelkan beban dengan daya konstan, simulator juga dapat bekerja dengan beban yang bergantung pada tegangan (*voltage dependent load*), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan dialog window *Load Options* di Bus 2

- Perhatikan *field Orientation* pada *tab Load Information*. Pilih *Up* untuk menghadapkan *Load* ke atas.
- Klik *Ok* untuk menerima *setting default* pada *field* yang lain. Tutup *dialog window Load Options*, dan *insert* beban.

Dalam hal ini, simbol *circuit breaker* secara otomatis dimasukkan pada setiap beban. Kita juga dapat mengubah / memindahkan posisi / orientasi *Load* pada tampilan. Sampai di sini, tampilan diagram segaris yang terbentuk adalah seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan diagram satu garis dengan beban di Bus 2

3.1.4 Membuat Saluran Transmisi

Selanjutnya, untuk menghubungkan *Bus* generator dan *Bus* beban diperlukan saluran transmisi. Untuk menambahkan saluran transmisi, kita dapat melakukan langkah-langkah sebagai berikut:

- Dari *ribbon tab Draw*, perhatikan *ribbon group Individual Insert*. Pilih *Network* dan selanjutnya *Transmission Line*.
- Klik kiri pada tempat dimana saluran transmisi akan dimulai, biasanya terletak pada salah satu *Bus*, misalnya saluran transmisi dimulai dari *Bus 1*. Saluran transmisi dan transformator tergambar sebagai sebuah segmen garis.
- Tanpa menahan tombol *mouse*, *drag mouse* ke atas. Perhatikan sebuah segmen garis yang terhubung pada titik awal akan mengikuti gerakan *mouse*.
- Untuk mengakhiri sebuah segmen garis, klik tombol kiri *mouse*. Untuk menggambar segmen garis berikutnya, gerakkan *mouse* ke lokasi yang diinginkan.
- Untuk menghasilkan sebuah garis kurva, tahan tombol kiri *mouse* selama *dragging*.

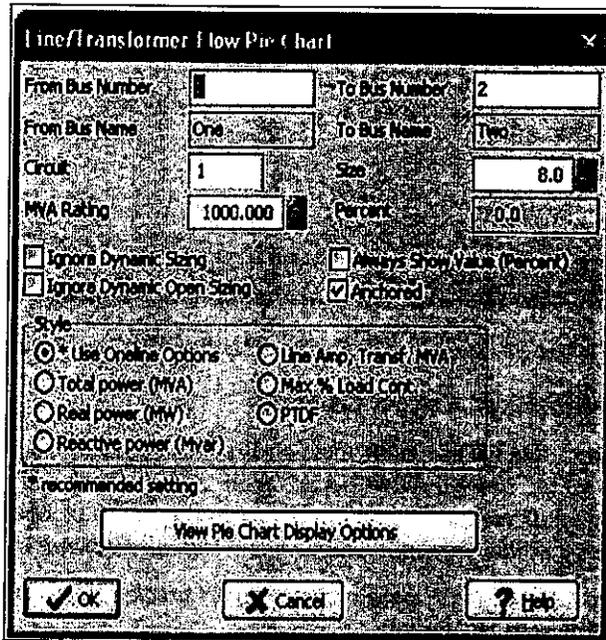
- Untuk mengakhiri segmen garis terakhir dan menyelesaikan keseluruhan garis, klik dua kali tombol kiri *mouse* pada titik yang diinginkan (untuk contoh ini pada Bus 2).
- Selanjutnya, *dialog window Branch Options* akan muncul seperti pada Gambar 8. Pada *dialog window* ini, angka 1 akan muncul pada *field From Bus Number* dan angka 2 akan muncul pada *field To Bus Number*. Jika tidak, kemungkinan kursor tidak diarahkan tepat pada *Bus* saat menggambar garis. Jika demikian, kita dapat meng-input nomor *Bus* yang bersesuaian pada *field* tersebut.

The screenshot shows the 'Branch Options' dialog box. At the top, there are fields for 'Line Number' (1), 'From Bus' (1), 'To Bus' (2), and 'Circuit' (1). Below these are fields for 'Name' (One), 'Area Name' (1 (1)), and 'Nominal KV' (138.0). There are also checkboxes for 'From End Metered' and 'Default Owner (Same as From Bus)'. The 'Parameters' tab is selected, showing 'Per Unit Impedance Parameters' with the following values: Series Resistance (R) = 0.02000, Series Reactance (X) = 0.08000, Shunt Charging (B) = 0.10000, and Shunt Conductance (G) = 0.00000. There is a checkbox for 'Has Line Shunts' which is unchecked. To the right, the 'MVA Limits' section shows a table with columns for Limit A through H, with Limit A set to 1000 and all other limits set to 0.000. A 'Calculate' button is located at the bottom left of the parameter section.

Gambar 8. Tampilan diagram segaris dengan beban di Bus 2

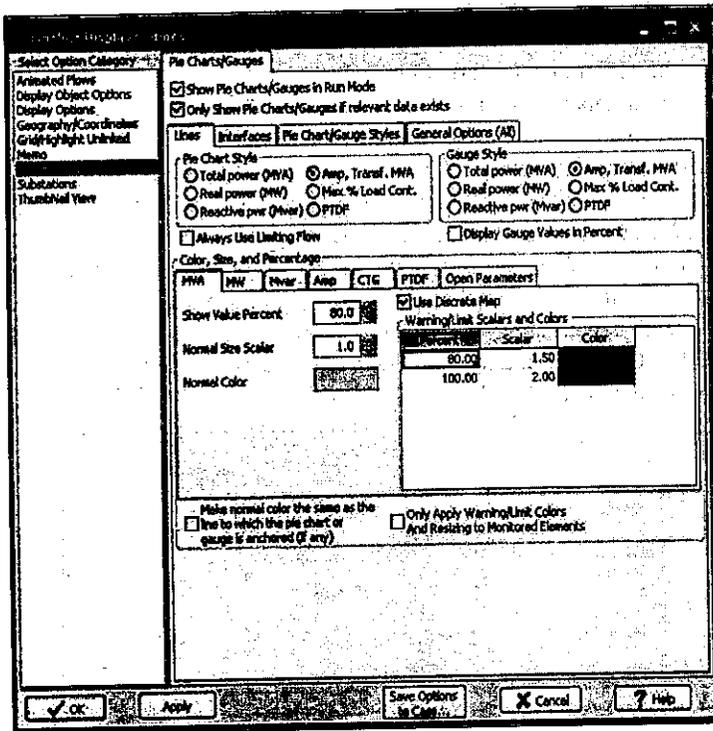
- *Field Series Resistance* (Resistansi Seri), *Series Reactance* (Reaktansi Seri), dan *Shunt Charging* digunakan untuk meng-inputkan parameter yang bersesuaian dalam satuan per unit (p.u).
- *Field Shunt Charging* berisi *charging capacitance* total (p.u) untuk saluran tersebut. Pada contoh ini, inputkan 0.02 pada *field Resistance*, 0.08 pada *field Reactance*, dan 0.1 pada *field Shunt Charging*.
- *Field Limit* (MVA) berisi rating MVA dari saluran tersebut. Pada contoh ini, inputkan 1000 pada *field Limit A* (MVA).

- Klik **Ok** untuk menerima setting nilai yang lain, tutup *dialog window Transmission Line/Transformer*, dan garis yang baru akan terbentuk. Secara *default*, saluran transmisi terhubung dengan kedua terminal *Bus*. Jika *Bus 2* dipindahkan, maka tampilan panjang saluran transmisi juga akan berubah.
- Ketika sebuah garis (saluran) digambar, sebuah *line flow pie chart* akan muncul. Anda dapat menambahkan *pie charts* lainnya dengan memilih *Pies/Gauges > Line Flow Pie Chart* dari *ribbon grup Individual Insert* pada *ribbon tab Draw*, dan kemudian klik di dekat garis.
- Selanjutnya, *dialog box Line/Transformer Flow Pie Chart* akan muncul seperti pada Gambar 9. Pastikan angka yang terisi pada “*From Bus*” dan “*To Bus*” telah benar, rating *MVA* telah sesuai, dan “*Anchored*” sudah dipilih (✓). Kita dapat mengganti ukuran *pie chart* dengan mengetikkan nilai atau menggunakan anak panah.



Gambar 9. Tampilan dialog box *Line/Transformer Flow Pie Chart*

- Warna dan parameter yang ditampilkan pada *pie chart* di-setting pada *display Online Display Options* dari menu *pop-up*, kemudian pilih tab *Pie Charts* (gambar di bawah ini).



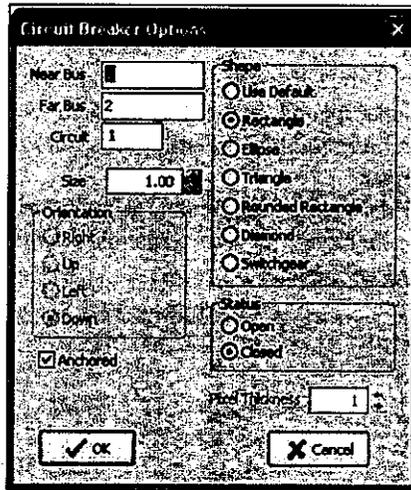
Gambar 10. Tampilan dialog box Online Display Options

3.1.5 Menambahkan Circuit Breaker

Circuit breakers digunakan untuk mengotrol status saluran. Jika saluran telah mempunyai *circuit breaker* pada setiap akhir saluran, maka simulator telah diinstruksikan untuk mengikutsertakan *circuit breaker* secara otomatis. Kita dapat mengkonfigurasi pilihan ini dari *dialog window Default Drawing Options*.

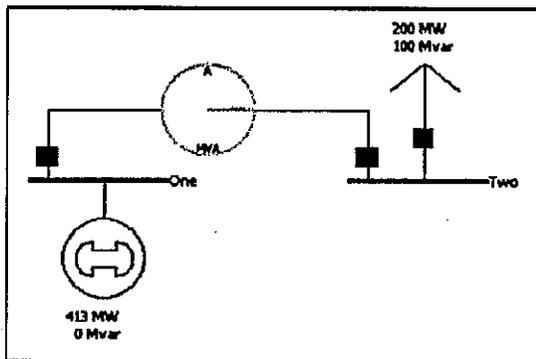
Untuk menambahkan / menampilkan *circuit breaker*, kita dapat mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

- Klik di sembarang titik pada garis / saluran dekat *Bus 1* kemudian pilih *Indication > Circuit Breaker* dari *ribbon grup Individual Insert* pada *ribbon tab Draw*.
- Kemudian, *dialog box Circuit Breaker Options* dengan *field From Bus* dan *To Bus* masing-masing di set angka 1 dan 2. Selanjutnya, jika angka-angka tersebut masih nol, set *field Size* menjadi "1".
- Klik *OK* untuk menambahkan *circuit breaker*.



Gambar 11. Tampilan dialog box *Circuit Breaker Options*

Pada studi kasus ini, kita juga akan menempatkan sebuah *circuit breaker* di dekat *Bus 2*. Untuk itu, ulangi langkah di atas untuk penempatan di dekat *Bus 2*. Jangan lupa untuk menyimpan perubahan yang sudah sejauh ini dilakukan (*Save case*). Tampilan diagram segaris yang akan muncul adalah sebagai berikut.



Gambar 12. Tampilan diagram segaris setelah penambahan *circuit breaker*

3.1.6 Menambahkan Transformator

Selanjutnya, kita dapat menambahkan transformator dengan terlebih dulu menambahkan sebuah *Bus* dengan level tegangan yang berbeda. Caranya adalah sebagai berikut:

- Tambahkan sebuah *Bus* baru pada sisi bawah dari diagram segaris, dan kita namakan dengan “3”, inputkan 69 kV untuk tegangan nominal pada *dialog box Bus Options*. Untuk menambahkan sebuah transformator antara *Bus 2* dan *Bus 3*, kita dapat mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:
- Dari *ribbon grup Individual Insert* pada *ribbon tab Draw*, pilih *Network* kemudian *Transformer*.
- Klik pada *Bus 2* dan kemudian gambar sebuah garis ke *Bus 3* seperti yang dilakukan untuk membuat saluran transmisi. Selanjutnya, *dialog window Branch Options* akan muncul.

The screenshot shows the 'Branch Options' dialog window. The 'Transformer' section is filled with the following data:

Field	Value
Number	2
Name	Two
Area Name	1(1)
Nominal KV	138.0
To Bus	3
To Bus Name	Three
Circuit	1
Nominal KV (To Bus)	69.0

The 'Per Unit Impedance Parameters' section contains the following values:

Parameter	Value
Series Resistance (R)	0.02000
Series Reactance (X)	0.08000
Shunt Charging (B)	0.10000
Shunt Conductance (G)	0.00000
Magnetizing Conductance	0.000000
Magnetizing Susceptance	0.000000

The 'MVA Limits' section shows the following values:

Limit	Value
Limit A	1000.000
Limit B	0.000
Limit C	0.000
Limit D	0.000
Limit E	0.000
Limit F	0.000
Limit G	0.000
Limit H	0.000

Gambar 13. Dialog window *Branch Options* pada penambahan transformator

- Pada tab *Parameter*, inputkan 0.02 untuk *Series Resistance*, 0.08 untuk *Series Reactance*, 0.1 untuk *Shunt Charging*, dan 1000 untuk *Limit A (MVA)*.
- Pilih tab *Transformer Control*. Perhatikan bahwa *Off-nominal Turns Ratio* menunjukkan angka 1000. Catatan: Nilai *Turn Ratio* dari transformator yang sebenarnya tidak perlu ditentukan mengingat nilai tersebut secara otomatis ditentukan oleh rasio antara tegangan nominal antara *From Bus* terhadap *To Bus*. Nilai *Off-nominal Turns Ratio* digunakan untuk meng-adjust setting tap

- Klik **Ok** untuk menerima setting *default*, tutup *dialog window*, dan secara otomatis simbol transformator akan muncul pada diagram segaris.
- Ulangi prosedur ini untuk menambahkan sebuah transformator diantara *Bus 1* dan *Bus 3*.

3.1.7. Menambahkan Beban di *Bus*

Untuk menambahkan beban 400 MW, 200 Mvar di suatu *Bus*, misalkan pada *Bus 3*, kita dapat mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

- Klik kanan pada *Bus 3* dan pilih *dialog window Bus Information*. Pilih tab *Attached Devices*, klik *Add or Edit Bus Load*.
- Di bawah *Constant Power* inputkan 400 pada *field MW Value*. Inputkan 200 pada *field Mvar Value*, klik **Ok**.
- Perhatikan bahwa nilai 400 dan 200 masing-masing terdisplai sebagai *Base MW* dan *Base Mvar*.

Beban tersebut (400 MW, 200 Mvar) sekarang telah terhubung dengan *Bus* meskipun tidak terdisplai pada diagram segaris. Untuk menampilkan simbol beban ini pada diagram satu garis, kita dapat menggunakan fitur *Auto Insert* atau menggunakan prosedur berikut ini:

- Pilih *Auto Insert > Loads...* dari *ribbon grup Quick Insert* pada *ribbon tab Draw*. *Dialog box Automatic Insertion of Loads* akan muncul.
- Klik **Ok** untuk menerima nilai *default* dan simbol beban akan muncul pada diagram satu garis.

Perhatikan bahwa saluran, beban, generator, dan simbol komponen lainnya dapat ditambahkan sebagai objek pada diagram segaris menggunakan *Auto Insert*.

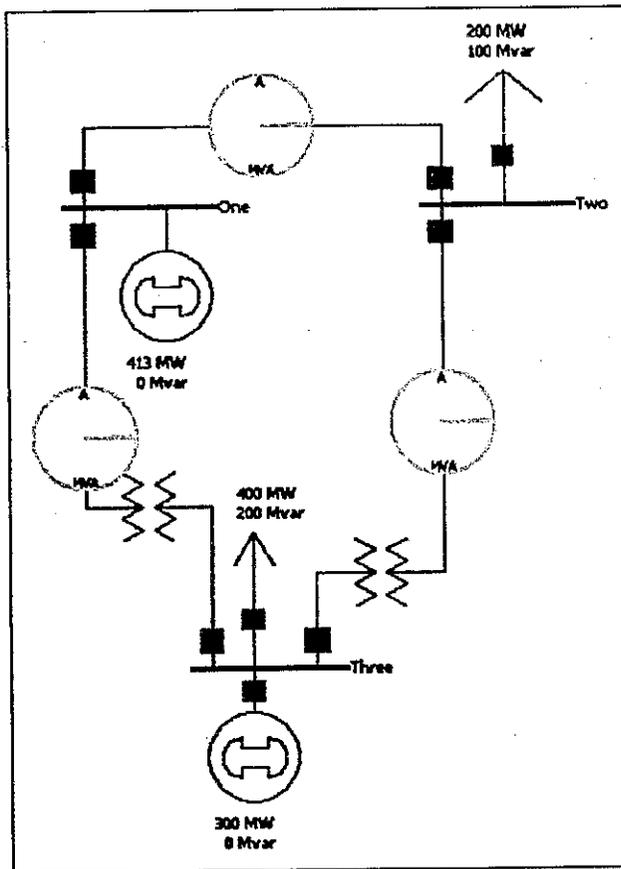
- Klik kanan pada simbol beban dan pilih *Load Information Dialog*. Kita dapat mengganti orientasi dan memverifikasi seluruh parameter beban pada *dialog window* ini.
- Klik **Ok**.

3.1.8 Menambahkan Generator di *Bus*

Selanjutnya, jika kita ingin menambahkan sebuah generator dengan daya 300 MW pada *Bus 3*, maka prosedurnya adalah sebagai berikut:

- Pilih *Network > Generator* dari *ribbon grup Individual Insert* pada *ribbon tab Draw*.
- Klik kiri pada *Bus 3*, maka *dialog box Generator Option* akan muncul.
- Pilih tab *Power and voltage Control*. Inputkan angka 300 pada *field MW Output*.

Klik *Ok* pada pada *dialog window Generator Option* untuk menerima *setting* nilai yang lain. Setelah *dialog window* ditutup, generator baru akan muncul pada diagram segaris dan terhubung dengan *Bus 3*. Diagram segaris yang baru akan nampak seperti pada Gambar 14.



Gambar 14. Tampilan diagram segaris setelah penambahan beban dan generator

3.1.9 Menempatkan *Switched Shunt*

Switched shunt biasanya terdiri dari kapasitor untuk menyuplai daya reaktif (MVAR) pada sistem atau reaktor untuk menyerap daya reaktif. *Switched*

switch) secara diskrit. Jika minimal terdapat sebuah blok admitansi yang aktif, *shunt* dikategorikan “online”. *Circuit breaker* pada *switched shunt* digunakan untuk menentukan dan / atau mengalihkan status *switched shunt* tersebut. Untuk menempatkan sebuah *switched shunt* pada *Bus 3*, kita dapat mengikuti langkah-langkah berikut ini:

- Pilih *Network > Switched Shunt* dari *ribbon grup Individual Insert* pada *ribbon tab Draw*.
- Klik pada atau di dekat *Bus 3*. *Dialog box Switched Shunt Options* akan muncul seperti pada Gambar 15.
- Verifikasi nomor *Bus*, yaitu “3”, jika tidak, kita dapat menggantinya.
- Masukkan “10” untuk nilai *Nominal Mvar*.
- Klik *Ok* untuk menerima nilai *default* pada *field* lainnya.

Switched Shunt Options

Bus Number: 3 Find By Number

Bus Name: Three Find By Name

Shunt ID: 1 Find ...

Labels ...

Status: Open Closed

Area	Change	Number	Name
		1	1
Zone	Change	1	1
Substation			

Display Parameters Control Parameters Fault Parameters Custom

Nominal Mvar: []

Control Mode: Fixed Discrete Continuous Bus Shunt (Fixed)

Control Regulation Settings: Voltage Generator Mvar

High Value: 1.0000 Low Value: 0.9900 Target Value: 1.0000

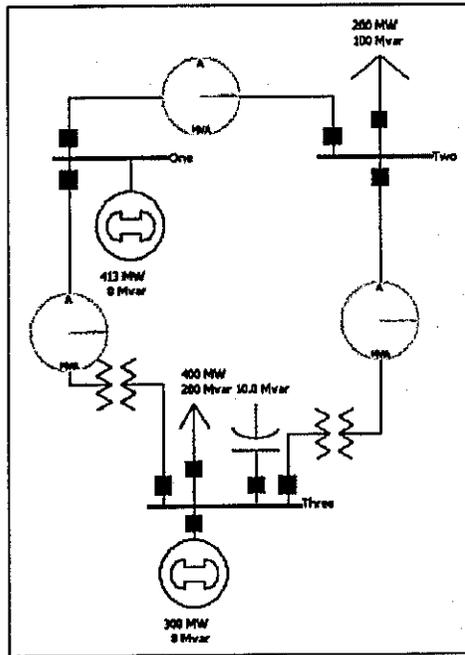
Reg. Bus #: []

Switched Shunts Blocks

Number of Steps	Mvars per Step
[]	[]

OK Save Cancel Help

Gambar 15. Tampilan dialog window *Switched Shunt Options*



Gambar 16. Tampilan diagram segaris setelah penambahan Switched Shunt

Field yang berisi informasi dapat ditambahkan secara langsung pada diagram segaris untuk kepentingan monitoring parameter sistem ketika sebuah *case* sedang dijalankan. Untuk menampilkan *field* teks, kita dapat mengikuti langkah-langkah berikut ini:

- Pilih *Background > Text* dari *ribbon grup Individual Insert* pada *ribbon tab Draw*.
- Klik kiri pada diagram satu garis pada lokasi yang diinginkan untuk memunculkan *Text Object Dialog*. (Untuk contoh ini, klik kiri pada sisi atas tengah dari diagram segaris).
- Ketikkan “*First Case*” pada *Enter the text field*. Klik *Ok*.
- Untuk memformat teks, pastikan teks yang terdapat pada diagram segaris tersebut telah ditentukan kemudian pilih dari *ribbon grup Formatting* pada *ribbon tab Draw*. Ini akan menampilkan *Font Tab* dari *Format Selection Dialog*.
- Set ukuran *font* menjadi 26 dan warna *font* menjadi *blue*.
- Untuk mengganti warna *background* teks, pilih dari *ribbon grup Formatting* pada *ribbon tab Draw* yang akan menampilkan *tab Line/Fill Options*. Jika

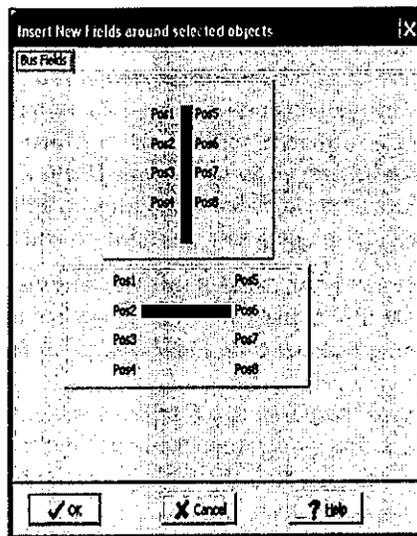
format menu sudah terbuka, klik pada *tab Line/Fill Options* pada *Format Selection Dialog*. Tandai kotak *Use background Fill* agar teks yang muncul mempunyai latar belakang putih, selanjutnya klik *Ok*.

- Teks dapat dipindahkan dengan cara yang sama seperti memindahkan *object* pada diagram segaris.

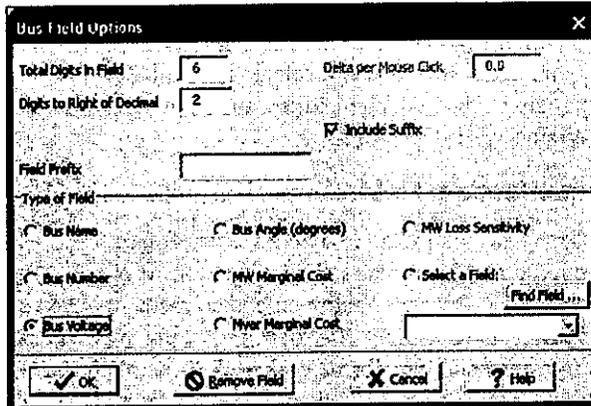
3.1.10 Memanfaatkan *Field*

Field juga dapat menampilkan "*object-related quantities*". Secara *default*, simulator dapat memasukkan nama *Bus*, generator, MW dan MVAR beban, dan *switched shunt* MVAR. Sebagai contoh, kita akan menambahkan sebuah *field Bus Voltage Magnitude* untuk setiap *Bus* dan *field* yang menunjukkan aliran daya pada saluran transmisi dan transformator. Untuk menambah *field* lain pada displai sebuah *Bus* kita dapat mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

- Klik kanan pada *Bus* untuk membuka menu *lokal Bus*.
- Pilih *Add new Fields Around Bus* dari *lokal menu*. Langkah ini akan menampilkan *Insert Bus Fields Dialog*. Kita dapat menambah hingga 8 *field per Bus*. Pilih posisi dimana *field* yang baru akan diletakkan (untuk contoh ini pada posisi 5), kemudian klik *Ok*.
- *Dialog window Bus Field Options* akan muncul seperti pada Gambar 18. Pilih *field Bus Voltage* untuk ditampilkan pada posisi yang diinginkan dan klik *Ok*.



Gambar 17. Tampilan dialog window *Insert New Fields around selected objects*



Gambar 18. Tampilan dialog window *Bus Field Options*

Parameter dan posisi akan ditampilkan seperti yang terdapat pada dialog window **Insert New Field**. Klik **Ok**. Perhatikan bahwa *field Bus* yang telah ditentukan tersebut telah ditambahkan pada diagram segaris.

Ulangi prosedur ini untuk dua *Bus* yang lain. Jika diperlukan, kita dapat memindahkan *field* secara manual menggunakan *mouse*.

3.1.11 Menambahkan *Field*

Field juga dapat ditambahkan menggunakan **Background > Field** dari *ribbon grup Individual Insert* yang terdapat pada *ribbon tab Draw*. Selanjutnya, kita akan menambahkan *field* yang menunjukkan aliran daya (*power flow*) pada setiap ujung saluran transmisi. Caranya, pilih **Field > Transmission Line Field** dari *ribbon grup Individual Insert* pada *ribbon tab Draw*. *Line fields* menunjukkan informasi tentang saluran transmisi dan transformator. Pada *line fields*, aliran daya selalu ditentukan pada setiap ujung saluran transmisi atau transformator.

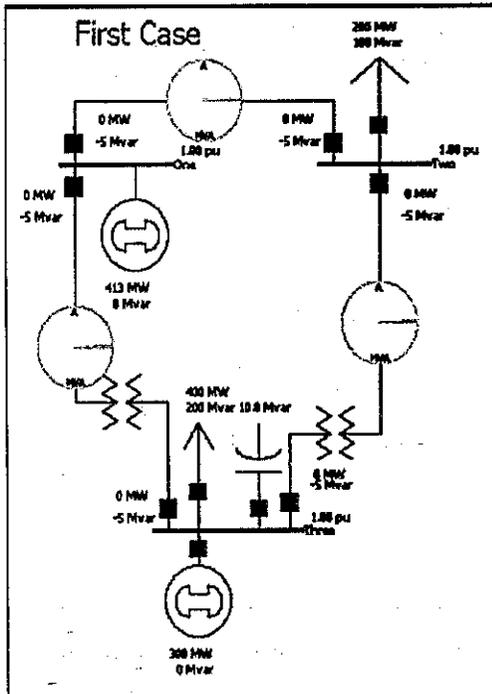
- Klik kiri di dekat *Bus 1* dan di dekat saluran transmisi diantara *Bus 1* dan *Bus 2* pada lokasi atau titik dimana anda menginginkan teks *power flow* muncul. Selanjutnya, *dialog window Line Field Options* akan muncul secara otomatis.
- Dalam hal ini, *field Near Bus* dan *Far Bus* masing-masing akan menunjukkan angka 1 dan 2. Jika tidak, masukkan nilai angka yang benar.
- Pilih **MW Flow** kemudian klik **Ok**. *Field* akan tampil pada diagram segaris di titik yang telah anda tentukan.
- Pilih **Field > Transmission Line Field** dari *ribbon grup Individual Insert* yang terdapat pada *ribbon tab Draw*.

2 pada titik dimana anda menginginkan teks *power flow* muncul. Selanjutnya, *dialog window Line Field Options* akan muncul secara otomatis.

- Sekarang, *field Near Bus* dan *Far Bus* masing-masing akan menunjukkan angka 2 dan 1. Jika tidak, masukkan nilai angka yang benar.
- Pilih *MW Flow* kemudian klik *Ok*.
- Ulangi prosedur ini untuk menambahkan *field Mvar Flow* untuk kedua lokasi.

3.2 Memonitor Aliran Daya

Kita mungkin juga ingin memonitor aliran daya aktif (MW) dan aliran daya reaktif (Mvar) pada saluran yang menghubungkan *Bus 1* dan *Bus 3* dan *Bus 2* dengan *Bus 3* melalui transformator. Perintah yang sama dapat digunakan seperti untuk menambahkan *field* untuk saluran transmisi. Ulangi langkah-langkah di atas untuk menambahkan *field* MW (dan Mvar) *Flow* pada saluran yang menghubungkan *Bus 1* dan *Bus 3* serta *Bus 2* dan *Bus 3* melalui transformator. Diagram segaris kita akan tampak seperti pada Gambar 19.



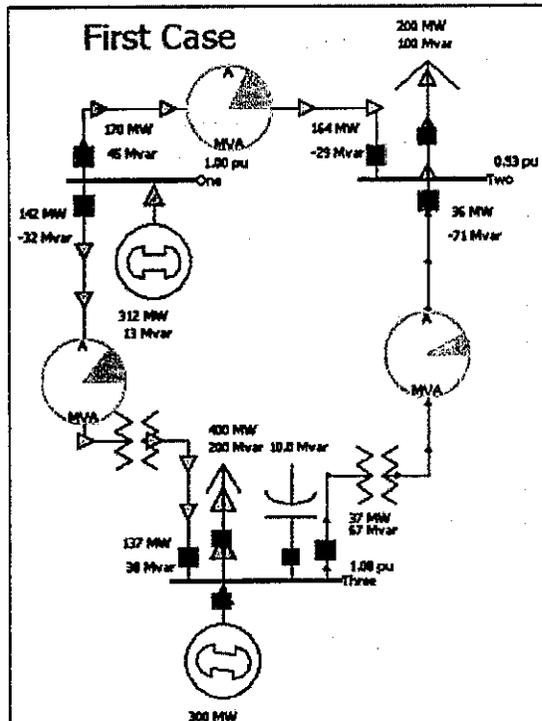
Gambar 19. Tampilan diagram segaris setelah penambahan *field* MW dan Mvar

Untuk menyelesaikan *case* ini, kita harus masuk pada kondisi *Run Mode*. Untuk mengaktifkan *Run Mode*, ikuti langkah-langkah berikut ini:

Klik tombol *Run Mode* pada *ribbon grup Mode*. Perhatikan bahwa jika pada *case* ini terdapat *error*, akan tampil *dialog box* peringatan yang berarti kita harus menyelesaikan dulu permasalahan yang timbul. Peringatan lainnya juga dapat muncul pada *message log*.

Tekan tombol *Play* pada *ribbon grup Power Flow Tools* yang terdapat pada *ribbon tab Tools* untuk memulai simulasi. Alternatif lainnya, untuk melakukan analisis “*Single Power Flow Solution*”, klik tombol *Single Solution – Full Newton* pada *ribbon grup Power Flow Tools* yang terdapat pada *ribbon tab Tools*.

Case yang kita bangun akan tampak seperti pada Gambar 20. Jika demikian, selamat! kita telah dapat menyelesaikan *case* pertama!



Gambar 19. Tampilan diagram segaris pada saat *Run Mode*

Sekarang, coba kita klik *circuit breaker* pada beban untuk mengubah status beban. Simbol kotak dengan warna solid pada *circuit breaker* menandakan posisi

simulasi berjalan, klik pada simbol *circuit breaker* ini. Perhatikan perubahan yang terjadi pada aliran daya. Ketika *circuit breaker closed*, klik untuk untuk mengubah posisi menjadi *open* pada *circuit breaker* diantara *Bus 3* dan generator yang terhubung dengan *Bus* tersebut. Selanjutnya, buka salah satu *circuit breaker* pada transformator atau saluran transmisi. Perhatikan yang terjadi. Selamat! Kita telah berhasil membuat sistem menjadi *black-out*!

-oo0oo-

PEMANFAATAN FASILITAS ADD-ON

Seperti telah dikemukakan sebelumnya pada Bab 1, PowerWorld Simulator versi 16 dan beberapa versi sebelumnya dilengkapi dengan fasilitas Add-On, yaitu semacam fitur untuk membantu pengguna melakukan beberapa analisis dalam memecahkan permasalahan sistem tenaga listrik. Pada bab ini, kita akan mempelajari dan berlatih memanfaatkan fasilitas Add-on tersebut, yaitu *Optimal Power Flow* (OPF).

4.1 *Optimal Power Flow Tool*

Penjelasan fasilitas OPF ini dimaksudkan untuk memberikan contoh penggunaan tingkat lanjut pada aplikasi simulator ini. Untuk dapat menjalankan fasilitas ini dengan baik, pengguna disarankan untuk memahami mekanisme penggunaan simulator ini atau setidaknya telah terbiasa untuk membentuk sebuah studi kasus. Bab 4 membantu kita dalam berlatih membiasakan diri dengan fungsi-fungsi dasar yang dimiliki PowerWorld Simulator, khususnya dalam hal mengakses tampilan antarmuka untuk membentuk sebuah diagram segaris.

Pemahaman terhadap konsep studi aliran daya (*power flow study*) akan sangat membantu dalam bekerja dengan Add-On OPF ini. Contoh permasalahan OPF yang dikemukakan pada sub-bab ini dapat diakses dan selanjutnya di unduh pada <http://www.powerworld.com/downloads/demosoftware.asp>. Di samping itu, fasilitas pelatihan berupa *online video* dapat diakses secara cuma-cuma pada <http://www.powerworld.com/services/webtraining.asp>, yang dapat membantu kita memahami navigasi dan fungsi dasar simulator.

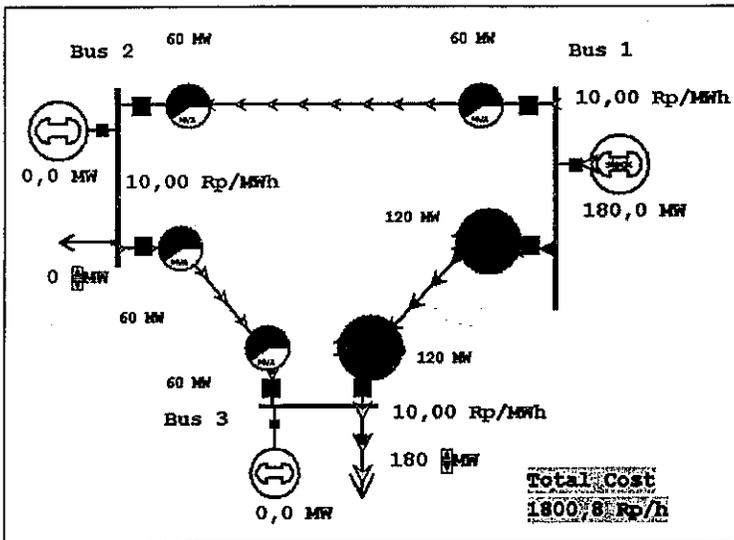
Analisa OPF bertujuan untuk menentukan cara “terbaik” mengoperasikan sebuah sistem tenaga listrik pada suatu waktu tertentu (*instantaneously*). Biasanya, yang dimaksud dengan “terbaik” adalah dengan meminimalkan biaya operasional (*operating cost*). analisis OPF dapat melibatkan dan dibatasi oleh *transmission limits constraints*, meskipun dalam sistem tenaga listrik yang ideal tidak ada limit untuk jaringan transmisi, demikian pula tidak ada rugi-rugi. Jadi dengan demikian, pada analisis OPF, kita akan meminimalisasi fungsi biaya, misalnya biaya operasional, dengan mempertimbangkan batasan yang setara dan yang tidak setara (*equality and inequality constraints*).

Contoh *equality constraints* antara lain: keseimbangan daya aktif dan reaktif pada bus, *setting point* tegangan generator, MW *area interchange*, batasan aliran pada transmisi atau transformator, atau pada komponen lainnya. Sementara itu *inequality constraints* dapat meliputi keluaran MW generator, batasan aliran pada transmisi atau transformator, atau pada komponen lainnya, kurva kapabilitas daya reaktif generator. Di samping itu, terdapat beberapa kontrol diantaranya keluaran MW generator, konsumsi daya MW beban, pergeseran fasa transformator, area transaksi, *setting point* jaringan transmisi DC.

Meskipun ada banyak kemungkinan *constraints* ataupun kontrol yang dapat diaplikasikan, biasanya hanya akan dipilih beberapa diantaranya yang dianggap relevan untuk memodelkan sistem, disamping karena pertimbangan kompleksitas sistem itu sendiri. Untuk mulai berlatih menggunakan fasilitas OPF, kita dapat menuju sub-direktori *Sample Cases* di lokasi simulator ini diinstall. Untuk memudahkan, mari kita melakukan mekanisme berikut ini secara berurutan:

- Buka file B3LP.pwb
- Aktifkan mode: *Run Mode*
- Pilih *ribbon tab*: **Add Ons**
- Klik **Primal LP** pada *ribbon group* **Optimal Power Flow (OPF)** untuk memecahkan permasalahan ini

Sebagai catatan, LP adalah singkatan dari *linear program*, sebuah teknik yang dapat digunakan untuk memecahkan permasalahan OPF. Pada mulanya, limit jaringan transmisi tidak diikutsertakan dalam analisa. Tampilan dari diagram segaris untuk file B3LP.pwb ini seperti terlihat pada Gambar 1.



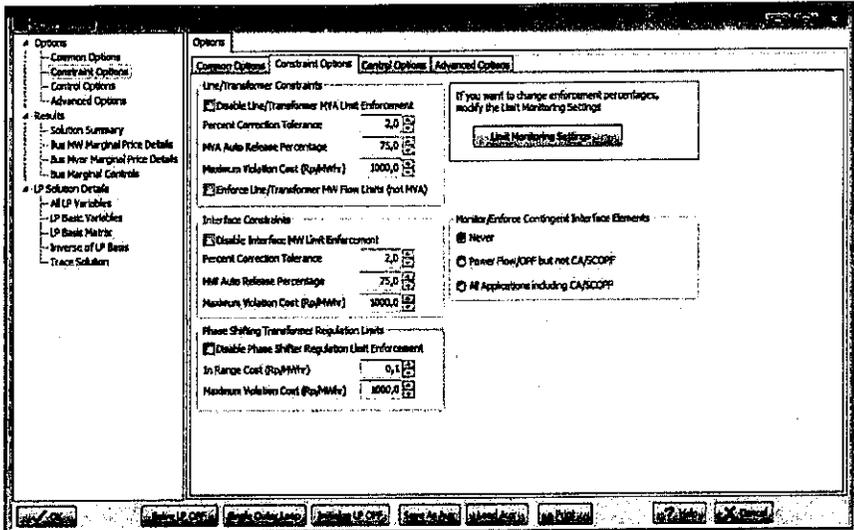
Gambar 1. Contoh sistem 3 Bus pada studi OPF

Seperti terlihat pada Gambar 1, semua *Bus* terhubung melalui reaktansi saluran transmisi sebesar 0.1 pu (tidak ada rugi-rugi MW), masing-masing mempunyai limit 100 MVA. Sementara itu, biaya marginal generator adalah:

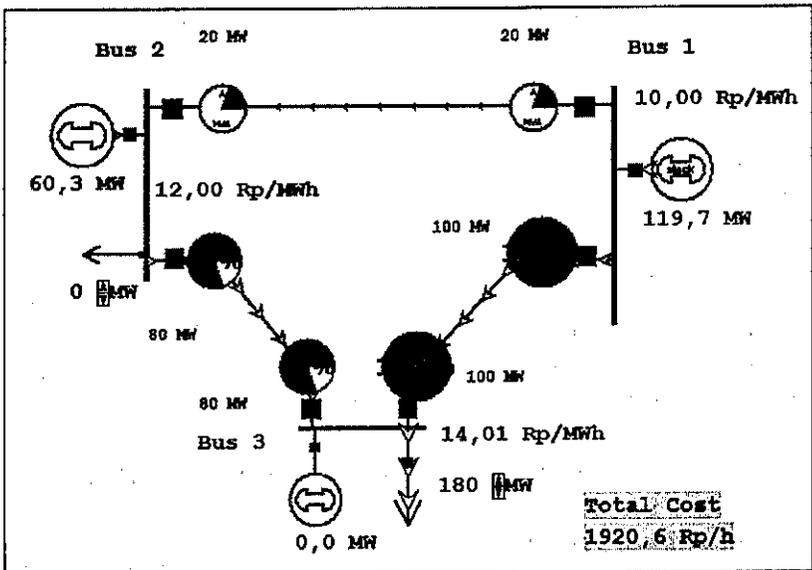
- *Bus 1:* Rp. 10/MWhr; dengan *range* 0 – 400 MW;
- *Bus 2:* Rp. 12/MWhr; dengan *range* 0 – 400 MW;
- *Bus 3:* Rp. 20/MWhr; dengan *range* 0 – 400 MW.

Sebuah beban 180 MW terhubung pada *Bus 3*, dengan mengabaikan limit transmisi, semua beban disuplai oleh generator pada *Bus 1* (*least-cost generator*). Seperti terlihat pada Gambar 1, saluran transmisi dari *Bus 1* ke *Bus 3* *overloaded*; semua *Bus* mempunyai biaya marginal yang sama, yaitu Rp. 10/MWhr. Untuk menerapkan limit transmisi, langkah-langkah berikut dapat dilakukan untuk mendapatkan tampilan seperti pada Gambar 2 dan hasil analisis seperti pada Gambar 3:

- Dari *ribbon group OPF*, pilih *OPF Options and Results* untuk melihat *dialog window* utama
- Pilih *Constraint Options Tab*
- *Un-check* pada *checkbox Disable Line/Transformer MVA/Limit Enforcement*
- Klik *Solve LP OPF*



Gambar 2. Tampilan LP OPF Dialog window untuk menerapkan limit transmisi

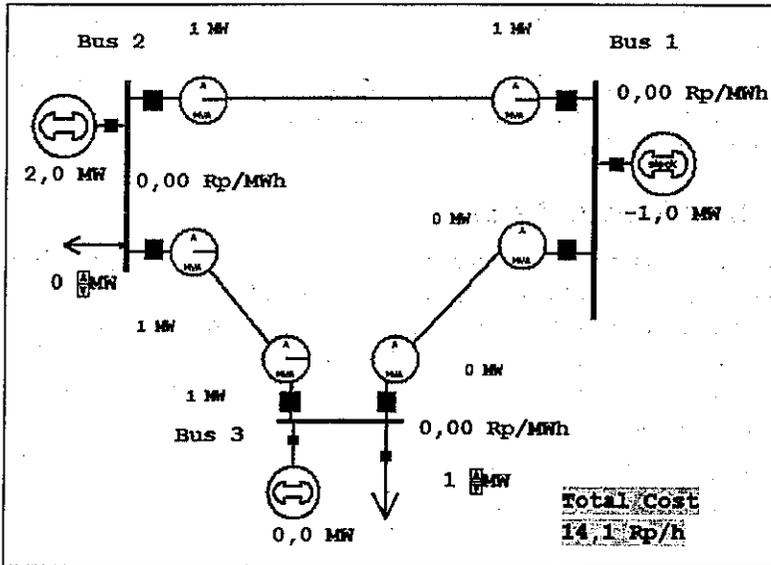


Gambar 3. Hasil analisis OPF dengan menerapkan limit transmisi

Seperti ditunjukkan pada Gambar 3, dengan menerapkan limit transmisi,

menghilangkan pelanggaran. Terlihat bahwa biaya marginal untuk tiap *Bus* sekarang menjadi berbeda.

Untuk memverifikasi biaya marginal seperti yang ditampilkan pada Gambar 4, pertama-tama tetapkan kasus ini sebagai kasus dasar (*Base case*).



Gambar 4. Hasil verifikasi biaya marginal pada Bus 3

Seperti terlihat pada Gambar 4.4, setiap tambahan daya 1 MW pada beban di Bus 3 akan menambah biaya total (*total cost*) sebesar Rp. 14/MWhr (dibulatkan dari Rp. 14.1/MWhr), yang berarti G2 naik sebesar 2 MW dan G1 turun sebesar 1 MW.

Sama seperti kasus biaya marginal bus, pengguna juga dapat menghitung biaya marginal dengan mengikutsertakan *transmission line constraints*. Dilihat dari sudut pandang saluran transmisi, terdapat penghematan pada sistem yang dapat dicapai jika *rating MVA* dinaikkan sebesar 1 MVA. Hal ini dapat dilakukan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

- Ubah *Difference Flows* kembali pada *Present Case*
- Dari *ribbon Add Ons*, pilih *OPF Case Info*, kemudian pilih *OPF Lines and Transformers* untuk mengakses *OPF Constraint Records*.
- Lihat pada kolom *MVA Marg. Cost*, akan tampak nilai *MVA Marg. Cost* 6.

Pertanyaan lain dapat muncul: Mengapa biaya marginal MVA adalah sebesar Rp. 6/MVAhr? Jika kita memperbolehkan tambahan 1 MVA mengalir pada saluran

transmisi dari *Bus 1* ke *Bus 3*, maka keadaan ini menghasilkan re-dispatch sebagai berikut:

- $Pg1 + Pg2 = 0$ MW
- $2/3 Pg1 + 1/3 Pg2 = 1$; (tidak ada lagi aliran dari *Bus 1* ke *Bus 3*)

Pemecahan masalah ini mengharuskan kita untuk menurunkan $Pg2$ sebesar 3 MW dan menaikkan $Pg1$ sebesar 3 MW: yang berarti penghematan netto sebesar Rp. 6. Verifikasi dapat dilakukan dengan mengganti limit saluran menjadi 101 MVA. Untuk mempelajari lebih detail, kita akan melanjutkan dengan penyelesaian studi kasus OPF 3-*Bus*.

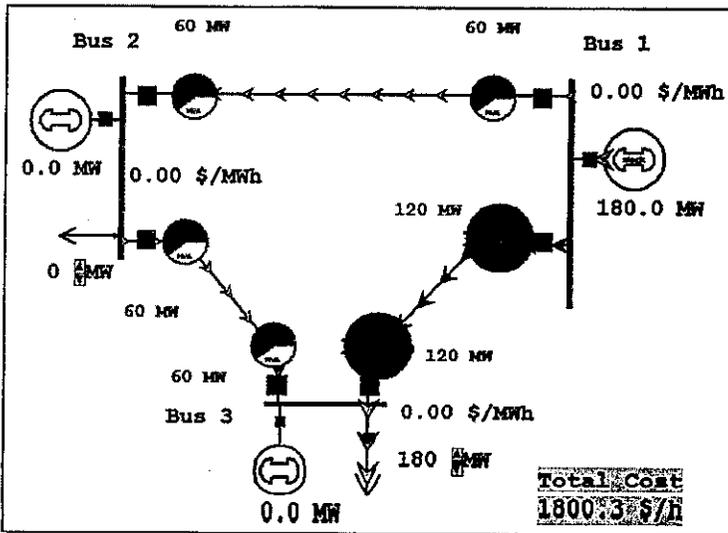
4.2 Studi kasus OPF 3-*Bus*

Untuk memperjelas pembahasan di atas, kita akan menggunakan *file* B3LP yang terdapat pada direktori *Sample Cases*, kali ini dalam US\$. *Bus 1* merupakan *slack bus*, di mana setiap bus terhubung satu dengan lainnya melalui saluran transmisi dengan reaktansi saluran 0.1 pu dan MVA limit sebesar 100 MVA. Pada *Bus 3* terdapat representasi beban sebesar 180 MW. Biaya marginal dari generator pada setiap *Bus* adalah:

- *Bus 1*: \$10/MWhr; Range = 0 – 400 MW
- *Bus 2*: \$12/MWhr; Range = 0 – 400 MW
- *Bus 3*: \$20/MWhr; Range = 0 – 400 MW

Untuk memulai, ikuti langkah-langkah berikut ini:

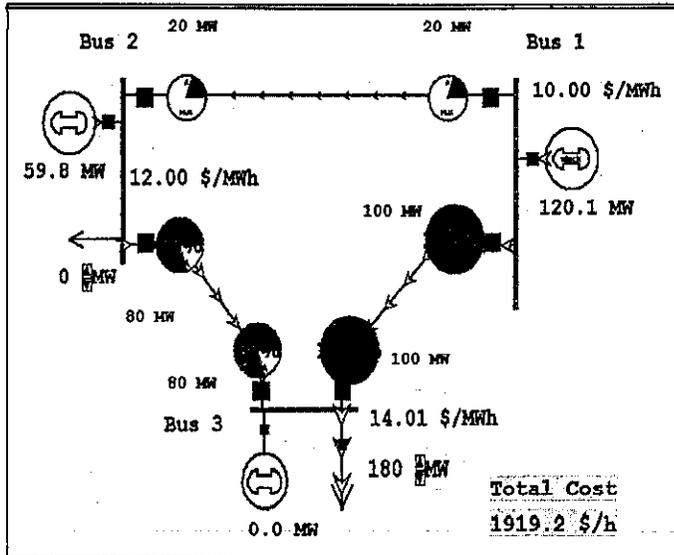
- Buka *file* B3LP
- Verifikasi spesifikasi sistem, caranya dengan klik kanan pada setiap saluran, *Bus*, dan generator. Pilih *Line/Bus/Generator Information Dialog* dari *drop down* menu.
- Pilih *Run Mode*
- Agar analisis OPF dapat dijalankan, semua area pada *AGC status field* harus di-*setting* pada OPF. Untuk melakukan hal ini, pilih **OPF Case Info > OPF Areas** dari *ribbon grup OPF* yang terdapat pada *Ribbon Tab Add Ons*. Selanjutnya, *OPF Area Records* akan terbuka secara otomatis. Pastikan *AGC Status Field* telah di-*setting* untuk OPF, jika tidak klik dua kali pada *field* tersebut untuk mengganti *settingnya*. Selanjutnya, tutup tampilan *OPF Area Records*.
- Pilih *Add Ons > Primal LP* dari *Ribbon grup OPF* yang terdapat pada *Ribbon Tab Add Ons* untuk menyelesaikan permasalahan ini. Catatan: limit saluran pada mulanya tidak diaktifkan. Tampilan yang muncul seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 5. Penyelesaian B3LP (Optimal Power Flow) menggunakan Add Ons > Primal LP

Catatan: Perhatikan bahwa saluran Bus 1 ke Bus 3 mengalami kondisi *overload* dan seluruh Bus mempunyai biaya marginal yang sama.

- Selanjutnya pilih **OPF Case Info > OPF Areas** dari **Ribbon group OPF** yang terdapat pada **Ribbon Tab Add Ons**.
- Kolom **Branch MVA** menyatakan apakah **MVA limit** harus diberlakukan atau tidak untuk saluran transmisi dan transformator yang mempunyai sedikitnya satu terminal pada area ini.
- Perhatian: Jika sebuah saluran transmisi atau transformator hendak disertakan pada **constraint OPF**, maka pada **OPF Options and Results Dialog**, **constraint Saluran/Transformator** tidak boleh di-setting "**disabled**", dan setiap saluran/transformator harus di-setting "**enabled**" untuk di "**enforcement**" pada tampilan **OPF Line/Transformer MVA Constraints**.
- Selanjutnya, **double** Klik pada **Field Branch MVA** untuk mengganti nilai menjadi **YES**, kemudian tutup tampilan **OPF Area**.
- Pilih **OPF Options and Results** dari **Ribbon group OPF** yang terdapat pada **Ribbon Tab Add Ons**.
- Selanjutnya, tampilan **LP OPF Dialog** akan muncul secara otomatis. Pilih **tab Constraint Options** kemudian klik **Disable Line/Transformer MVA Limit Enforcement** untuk menghilangkan tanda centang.
- Klik **Solve LP OPF**, kemudian klik **Ok**. Tampilan yang akan muncul seperti pada gambar berikut ini.

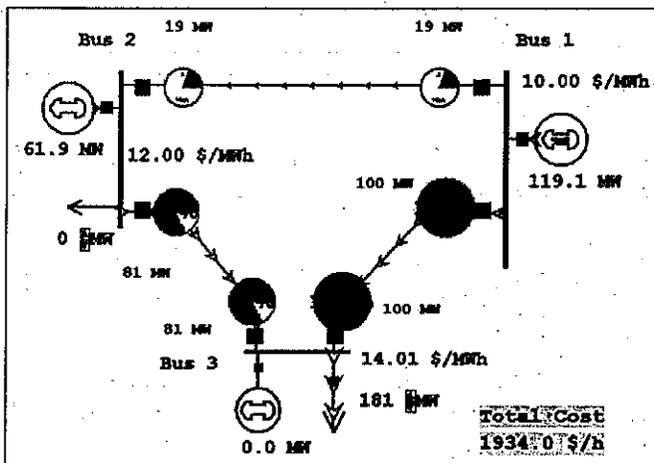


Gambar 6. Penyelesaian B3LP dengan Line Limit Enforcement Enabled

Selanjutnya, LP OPF akan melakukan re-dispatches untuk menghilangkan pelanggaran limit saluran. Dalam hal ini, biaya marginal dari setiap Bus telah berubah dibandingkan kondisi awal. Untuk Bus 3, biaya marginal yang baru adalah \$14/MWhr. Untuk memverifikasi hal ini,

- Naikkan beban pada Bus 3 sebesar 1 MW. Klik kanan pada beban tersebut, masukkan "181.0" pada field Constant Power/MW Value yang terdapat pada dialog Load Options. Klik Ok.
- Pilih Primal LP dari Ribbon group OPF yang terdapat pada Ribbon Tab Add Ons.

Total cost mengalami kenaikan menjadi \$ 1934/hr dari sebelumnya sebesar \$ 1920/hr, atau hal ini berarti ada selisih sebesar \$ 14/hr ketika beban pada Bus 3 dinaikkan sebesar 1 MW. Tampilan yang muncul dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 7. Penyelesaian B3LP dengan Line Limit Enforcement Enabled ketika ada tambahan beban 1 MW di Bus 3

4.3 Local Marginal Price

Bagaimana kita dapat memperoleh penjelasan besarnya *Local marginal Price* (LMP) dari Bus 3 sebesar \$ 14/MWh? Pada prinsipnya, semua saluran mempunyai impedansi yang sama dan daya yang mengalir terdistribusi berkebalikan terhadap impedansi saluran. Dengan demikian, dalam hal ini berlaku:

- Untuk Bus 1 yang menyuplai 1 MW ke Bus 3, sebanyak 2/3 MW akan mengalir langsung dari Bus 1 ke Bus 3, sementara itu 1/3 MW akan mengambil jalur Bus 1 ke Bus 2 kemudian ke Bus 3.
- Untuk Bus 2 yang menyuplai 1 MW ke Bus 3, sebanyak 2/3 MW akan mengalir langsung dari Bus 2 ke Bus 3, sementara itu 1/3 MW akan mengalir dari Bus 2 ke Bus 1 kemudian ke Bus 3.
- Untuk menyuplai tambahan 1 MW ke Bus 3, kita perlu menjumlahkan pertukaran daya pada generator 1 dan generator 2 sehingga sama dengan 1 MW ($P_{g1} + P_{g2} = 1 \text{ MW}$).
- Dengan adanya limit saluran dari Bus 1 ke Bus 3, tidak boleh ada tambahan daya yang mengalir melaluinya $(2/3)P_{g1} + (1/3)P_{g2} = 0$.
- Penyelesaian dari persamaan pada sistem tersebut menghasilkan: $P_{g1} = -1 \text{ MW}$ dan $P_{g2} = 2 \text{ MW}$.
- $\Delta \text{Cost} = \Sigma(\Delta P_g * \text{LMP}) = [(-1 \text{ MW}) * (\$ 10.00/\text{MWh}) + (2 \text{ MW}) * (\$ 12.00/\text{MWh})] = \$ 14.00/\text{hr}$.

Serupa dengan biaya marginal dari *Bus*, kita juga dapat menghitung biaya marginal ketika limit saluran diaktifkan. Untuk saluran transmisi, hal ini juga berarti merepresentasikan jumlah penghematan yang dapat dicapai jika rating MVA dinaikkan sebesar 1 MVA.

- Pilih **OPF Case Info > OPF Lines and Transformers** dari *Ribbon group* OPF yang terdapat pada *Ribbon Tab Add Ons*. Tampilan *OPF Constraints Records Dialog* akan muncul.

Perhatikan bahwa kolom yang menampilkan MVA Biaya marginal akan berisi 6.0 untuk *Bus* 1 ke *Bus* 3. Hal ini dapat ditentukan berdasarkan kondisi sebagai berikut:

- Jika tidak ada pertukaran pada beban, maka $Pg1 + Pg2 = 0$.
- Jika diperbolehkan tambahan 1 MVA untuk mengalir dari *Bus* 1 ke *Bus* 3, maka $(2/3)Pg1 + (1/3)Pg2 = 1$.
- Penyelesaian dari persamaan ini menghasilkan $Pg1 = 3$ MW dan $Pg2 = -3$ MW.
- $\Delta Cost = \Sigma(\Delta Pg * LMP) = [(3 \text{ MW}) * (\$10.00/\text{MWh}) + (-3 \text{ MW}) * (\$ 12.00/\text{MWh})] = \$ -6/\text{hr}$, diperoleh penghematan *netto* sebesar \$ 6.00/hr.

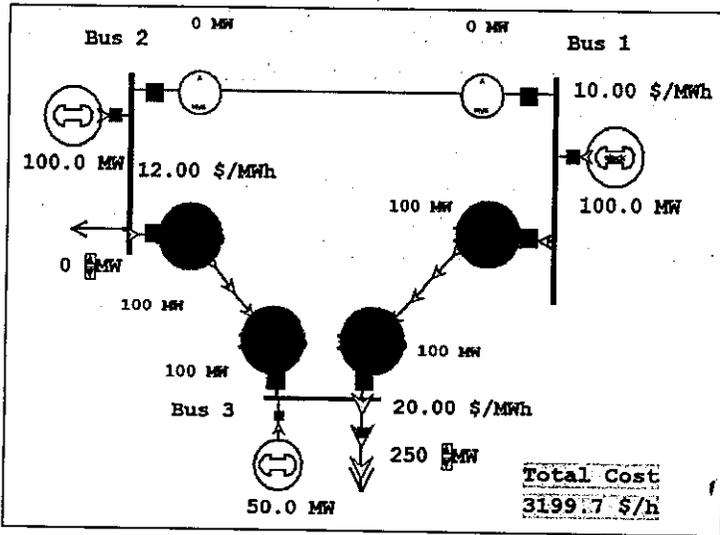
4.4 OPF dengan *Unenforceable Constraints*

Untuk memulai, kita naikkan beban pada *Bus* 3 hingga 250 MW kemudian *run* LP OPF kembali.

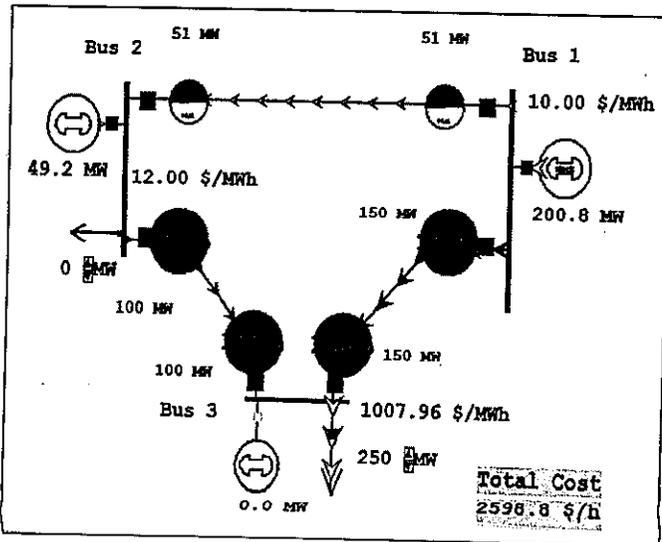
- Klik kanan pada beban di *Bus* 3. Masukkan nilai 250 pada *field Constant Power/MW Value*.
- Pilih *Primal LP* dari *Ribbon group* OPF yang terdapat pada *Ribbon Tab Add Ons*.

Perhatikan bahwa saluran transmisi yang menghubungkan *Bus* 3 dengan *Bus* lainnya berada dalam *limit* MVA-nya masing-masing dan generator pada *Bus* 3 menyuplai beban dalam kondisi diatas *limit* saluran transmisi. Selanjutnya, kita buka generator pada *Bus* 3 untuk memasukkan *unenforceable constraint*:

- Klik kiri pada simbol *circuit breaker* berwarna merah yang menghubungkan generator ke *Bus* 3 untuk membuka *circuit breaker* tersebut.
- Pilih *Primal LP* dari *Ribbon group* OPF yang terdapat pada *Ribbon tab Add Ons*. Hasil yang akan muncul adalah seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 8. B3LP dengan Bus 3: Generator membawa beban



Gambar 9. Penyelesaian B3LP dengan Unenforceable Constraints

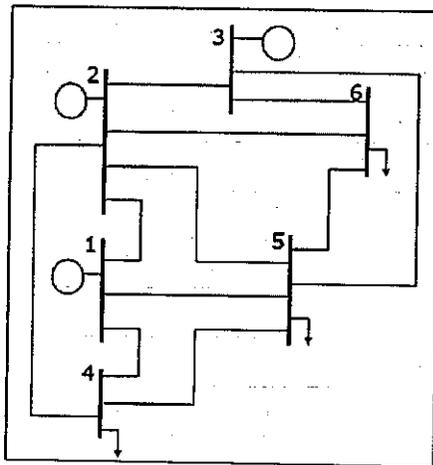
Kedua *constraints* tidak dapat di-*enforced* (diaplikasikan). Jika sebuah *constraint* tidak dapat diaplikasikan karena kondisi kontrol yang tidak mencukupi, variabel *slack* yang bersesuaian dengan pengaplikasian *constraint* tersebut tidak dapat dihilangkan dari basis LP.

Perhatikan bahwa nilai LMP yang baru untuk *Bus 3* melampaui \$ 1000/MWh. Biaya marginal bergantung pada *cost* (yang ditentukan secara sembarang) dari variabel *slack*. Nilai ini dapat ditentukan pada *field Marginal Violation Cost* pada *Add Ons > OPF Options and Results Dialog*.

-oo0oo-

BERLATIH DENGAN POWERWORLD SIMULATOR

Pada bab ini kita akan berlatih menggunakan PowerWorld Simulator untuk menyelesaikan permasalahan aliran daya beserta laporan kondisi Bus, saluran, dan rugi-rugi yang timbul. Terdapat sebuah diagram segaris yang terdiri dari 6 Bus dan 11 saluran transmisi seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 1. Sistem 6 Bus 11 Saluran

Adapun data teknis (tegangan, sudut fasa, daya aktif, daya reaktif) masing-masing Bus dan saluran diberikan pada tabel berikut.

Tabel 5.1 Data Bus (Base MVA = 100 MVA)

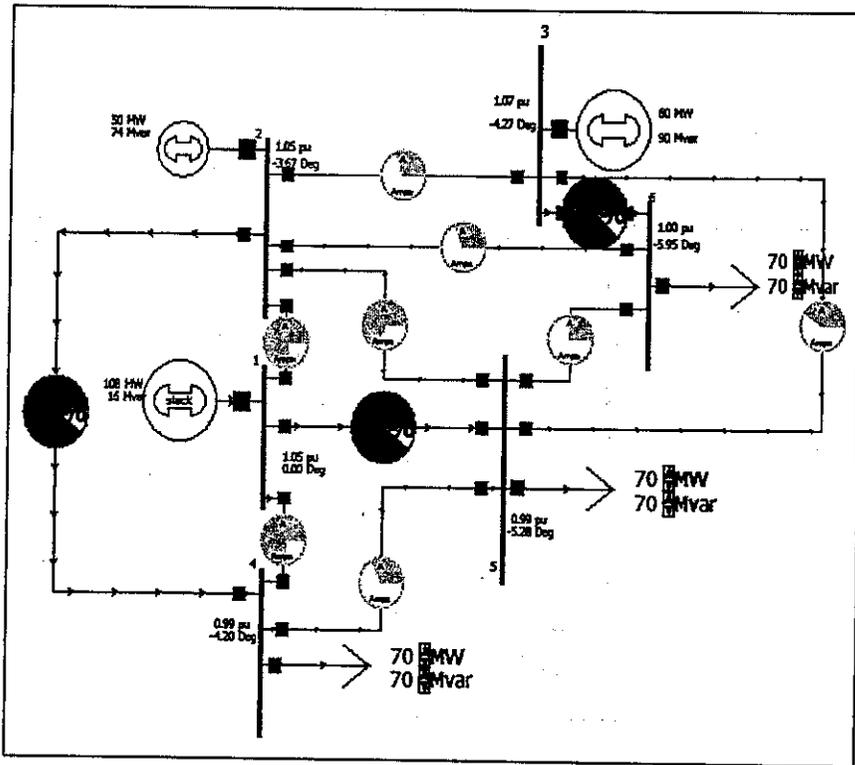
No Bus.	Type	V	δ	P_G (p.u)	Q_G (p.u)	P_L (p.u)	Q_L (p.u)
1	Slack	1.05	0	-	-	-	-
2	PV	1.05	-	0.50	-	-	-
3	PV	1.07	-	0.60	-	-	-
4	PQ	-	-	-	-	0.70	0.70
5	PQ	-	-	-	-	0.70	0.70
6	PQ	-	-	-	-	0.70	0.70

Tabel 5.2 Data Saluran

Saluran No.	Dari Bus	Ke Bus	R (p.u)	X (p.u)	1/2B (p.u)	MVA limit
1	1	2	0.10	0.20	0.02	40
2	1	4	0.05	0.20	0.02	60
3	1	5	0.08	0.30	0.03	40
4	2	3	0.05	0.25	0.03	40
5	2	4	0.05	0.10	0.01	60
6	2	5	0.10	0.30	0.02	30
7	2	6	0.07	0.20	0.025	90
8	3	5	0.12	0.26	0.025	70
9	3	6	0.02	0.10	0.01	80
10	4	5	0.20	0.40	0.04	20
11	5	6	0.10	0.30	0.03	40

Dari data-data yang tersedia, marilah kita berlatih untuk membuat sebuah diagram segaris menggunakan PowerWorld Simulator versi 16 untuk menyelesaikan analisis aliran dayanya. Tentukan pula kondisi Bus, saluran, dan rugi-rugi sistem. Bagaimana permasalahan ini diselesaikan? Menggunakan PowerWorld Simulator versi 16, penyelesaian aliran daya dari permasalahan ini berdasarkan data-data pada kedua tabel di atas akan menghasilkan diagram segaris seperti pada Gambar

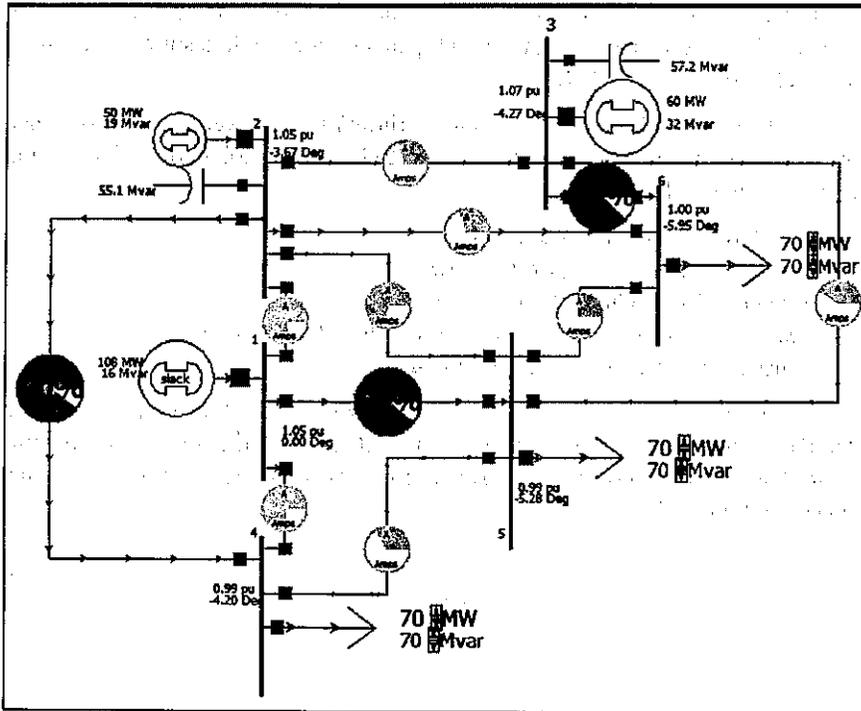
2. Perhatikan bahwa pada gambar ini sistem telah disimulasikan dengan mengklik *Run Mode > Tools (Power Flow Tools) > Solve*.



Gambar 2. Penyelesaian aliran daya pada sistem 6 Bus 11 Saluran

Kondisi *Bus* dan saluran bisa diperoleh dari *Ribbon tab Case Information*, lalu masuk ke *Case Data*. Klik *Case Summary* dan *Power Flow List*. Dari dialog window *Case Summary for Current Case*, didapatkan total rugi-rugi sistem sebesar 7.9 MW dan -30.1 MVar. Selanjutnya, coba kita tentukan dampak atas kondisi sistem jika terdapat perubahan-perubahan seperti berikut:

- Penambahan *shunt capacitor* sebesar 50 MVar pada PQ Bus
- Penambahan *shunt capacitor* sebesar 50 MVar pada PV Bus
- Kenaikan beban sebesar 10 MW + 10 MVar pada PQ Bus
- Kenaikan beban sebesar 10 MW + 10 MVar pada PV Bus
- Kenaikan beban sebesar 10 MW + 10 MVar pada Swing Bus
- Kenaikan generator sebesar + 10 MW pada PV Bus
- Adjust P_G dan atau V_G untuk meminimalkan rugi-rugi sistem.



Gambar 4. Penyelesaian penambahan shunt capacitor 50 MVar pada PV Bus

Dari analisis yang telah dilakukan, dibanding dampak penambahan *shunt capacitor* pada PQ Bus, penambahan *shunt capacitor* pada PV Bus berdampak antara lain:

- Rugi-rugi total sistem tidak berubah, yaitu 7.88 MW dan -30.06 MVar.
- Generator pada Bus 1 dan Bus 2 memproduksi lebih sedikit daya reaktif karena *shunt capacitor* dapat mensupport generator untuk membangkitkan daya reaktif.

Dari kedua contoh penyelesaian tersebut, kita dapat melakukan analisis lebih lanjut misalkan terkait dengan keefektifan penempatan kompensator daya reaktif pada sistem tenaga listrik.

Penyelesaian dari beberapa perubahan lainnya pada sistem tidak disertakan pada buku ini. Namun demikian, jika pembaca tertarik untuk menyelesaikan dan ingin mencocokkan hasilnya atau ingin berdiskusi lebih lanjut terkait penerapan PowerWorld Simulator, pembaca dapat mengirimkan email ke tanyusak@petra.ac.id.

Dengan senang hati penulis akan membagikan dan menjelaskan jawaban hasil simulasi untuk kasus ini, atau untuk penyelesaian studi kasus analisis aliran daya / kehandalan sistem IEEE.

Website PowerWorld Simulator (<http://www.powerworld.com>) juga menyediakan laman *Exercises for Students*. Beberapa contoh permasalahan yang diberikan antara lain:

- *Five Bus Homework Assignment*
- *Basic Introduction to B3Flat System*
- *Advanced Work with B7Flat System*
- *Implication of Interarea Transactions with B7Flat System*
- *Low Cost Operation of B7Flat System*

Disamping itu, juga terdapat contoh kasus IEEE 118 Bus yang biasa diaplikasikan untuk pengujian teori-teori riset. Laman *Exercises for Students* dapat diakses pada <http://www.powerworld.com/solutions/excercises>. Selamat mencoba! Semoga bermanfaat.

-oo0oo-



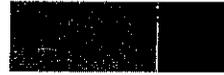
DAFTAR PUSTAKA

Thomas J. Overbye (2012), PowerWorld Simulator Version 16, PowerWorld Corporation, IL 61820 USA.

PowerWorld Corporation (2011), Quick Start for Using PowerWorld Simulator for Market Analysis. Downloaded from: <http://www.powerworld.com/files/OPFQuickStart.pdf>

PowerWorld Corporation (2013), PowerWorld Simulator Quick Guide. Downloaded from: <http://www.powerworld.com/files/SimulatorQuickStart.pdf>

-oo0oo-



TENTANG PENULIS

Yusak Tanoto dilahirkan di Jember, dan telah menyelesaikan pendidikan Sarjana Teknik Elektro bidang studi Sistem Energi Listrik dari Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Petra tahun 2003 dan meraih gelar *Master of Engineering* dari Asian Institute of Technology, Thailand tahun 2010 untuk spesialisasi *Energy-Electric Power System Management*. Ia menjadi dosen tetap di Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Petra sejak tahun 2004 hingga sekarang, Ia juga aktif mempublikasikan artikel ilmiah di jurnal dalam dan luar negeri untuk bidang riset yang menjadi peminatannya, antara lain manajemen energi makro-mikro, serta kebijakan dan perencanaan sistem energi listrik. Peraih penghargaan Peneliti Muda Terbaik tahun 2012 Universitas Kristen Petra ini juga tercatat menjadi anggota beberapa organisasi profesi, di antaranya Asosiasi Profesionalis Elektrikal Indonesia-Ahli Madya.

-oo0oo-

