

|                                                                                          |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>                                                          | <b>ii</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                                                               | <b>iii</b>  |
| <b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....</b>                                                   | <b>iv</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                                                                | <b>vii</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                                                | <b>ix</b>   |
| <b>CATATAN REVISI DOKUMEN.....</b>                                                       | <b>x</b>    |
| <b>INTISARI.....</b>                                                                     | <b>xii</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                                    | <b>xiii</b> |
| <b>RINGKASAN EKSEKUTIF .....</b>                                                         | <b>xiv</b>  |
| <b>A. PENDAHULUAN.....</b>                                                               | <b>1</b>    |
| A. 1. Permasalahan Umum .....                                                            | 1           |
| A. 2. Permasalahan dari Sisi Teknis .....                                                | 1           |
| A. 3. Solusi yang Ditawarkan.....                                                        | 2           |
| A. 4. Alur Dokumen C-400/500.....                                                        | 3           |
| <b>B. PROSES DESAIN OPERASI DAN IMPLEMENTASI.....</b>                                    | <b>5</b>    |
| B.1 Formulasi Fungsi Objektif .....                                                      | 6           |
| B.2 Formulasi Kekangan Operasi .....                                                     | 10          |
| B.2.1 Keseimbangan Daya .....                                                            | 10          |
| B.2.2 Batas Daya Aktif.....                                                              | 10          |
| B.2.3 <i>Minimum Up Time</i> dan <i>Minimum Down Time</i> .....                          | 10          |
| B.2.4 Kondisi Awal Pembangkit.....                                                       | 11          |
| B.2.5 <i>Ramp Rate</i> Pembangkit .....                                                  | 11          |
| B.2.6 <i>Spinning Reserve</i> .....                                                      | 12          |
| B.2.7 <i>Primary Frequency Response</i> (PFR) .....                                      | 12          |
| B.2.8 Transmisi.....                                                                     | 17          |
| B.3 Karakteristik <i>Intermittency</i> dan Peran PLTS sebagai <i>Negative Load</i> ..... | 18          |
| B.4 Sistem Kelistrikan Timor .....                                                       | 19          |
| B.5 <i>Flowchart Program Unit Commitment</i> .....                                       | 23          |
| B.6 Format Data Masukan Program UC .....                                                 | 26          |
| B.5.1 <i>Sheet</i> “standardGenData” .....                                               | 26          |
| B.5.2 <i>Sheet</i> “costGenData” .....                                                   | 26          |
| B.5.3 <i>Sheet</i> “freqRegulationData” .....                                            | 28          |
| B.5.4 <i>Sheet</i> “continuityGenData” .....                                             | 28          |
| B.5.5 <i>Sheet</i> “loadData” .....                                                      | 29          |
| B.5.6 <i>Sheet</i> “powerSun” .....                                                      | 29          |



UNIVERSITAS  
GADJAH MADA

**PERENCANAAN OPERASI JANGKA PENDEK SISTEM NUSA TENGGARA TIMUR DENGAN  
PERTIMBANGAN MASUKNYA PLTS DAN  
KEKANGAN OPERATIONAL RESERVE: UNIT COMMITMENT DENGAN KEKANGAN PRIMARY  
FREQUENCY RESPONSE STEADY**

**STATE**

KHOIRUL KHABIBI, Ir. Sariya, S.T., M.T., Ph.D., IPU.; Prof. Dr. Ir. Sasongko Pramono H, DEA.

|             |                                                                                                                    |           |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| B.5.7       | <i>Sheet "SRContingency"</i>                                                                                       | 29        |
| B.5.8       | <i>Sheet "SRPower"</i>                                                                                             | 30        |
| B.5.9       | <i>Sheet "SRPercentage"</i>                                                                                        | 30        |
| B.5.10      | <i>Sheet "busData"</i>                                                                                             | 30        |
| B.5.11      | <i>Sheet "branchData"</i>                                                                                          | 31        |
| B.5.12      | <i>Sheet "busload"</i>                                                                                             | 31        |
| B.5.13      | <i>Sheet "busSun"</i>                                                                                              | 31        |
| <b>B.6</b>  | <b>Revisi Desain dari Dokumen C200-300</b>                                                                         | 32        |
| <b>C.</b>   | <b>HASIL SIMULASI DAN ANALISIS</b>                                                                                 | <b>33</b> |
| <b>C.1.</b> | <b>Skenario 1: Unit Commitment Tanpa Kekangan Primary Frequency Response (PFR)</b>                                 | 33        |
| C.1.1.      | Analisis Dispatch, Spinning Reserve dan Biaya                                                                      | 34        |
| C.1.2.      | Analisis Pengaruh Kekangan Transmisi                                                                               | 40        |
| <b>C.2.</b> | <b>Skenario 2 : Unit Commitment dengan kekangan Primary Frequency Response (PFR) Respon Frekuensi Steady State</b> | 45        |
| C.2.1.      | Analisis Hasil Dispatch dan Reserve                                                                                | 46        |
| C.2.2.      | Analisis Alokasi PFR Tiap Jenis Pembangkit                                                                         | 50        |
| C.2.3.      | Perbandingan Biaya Operasi skenario 1 dan 2.                                                                       | 51        |
| <b>C.3.</b> | <b>Skenario 3: Unit Commitment Dengan Kekangan Inertia Response dan PFR</b>                                        | 52        |
| C.3.1       | Analisis Penjadwalan dan Pembebanan Unit Pembangkit                                                                | 53        |
| C.3.2       | Analisis Alokasi PFR Tiap Jenis Pembangkit                                                                         | 57        |
| C.3.3       | Analisis Alokasi Spinning Reserve Tiap Jenis Pembangkit                                                            | 59        |
| C.3.4       | Perbandingan Skenario 2 dan 3 saat Beban Puncak Tertinggi                                                          | 61        |
| C.3.5       | Perbandingan Biaya Operasi Skenario 1, 2, dan 3                                                                    | 62        |
| <b>C.4.</b> | <b>Skenario 4: Unit Commitment Dengan Kekangan PFR dan Respon Inersia serta Pertimbangan Masuknya PLTS</b>         | 63        |
| C.4.1.      | Analisis Pengaruh Besar Penetrasi PLTS Terhadap Pembebanan Pembangkit                                              | 65        |
| C.4.2.      | Analisis Perbandingan Alokasi PFR dan Sebaran PFR pada Ketiga Skenario Penetrasi PLTS                              | 70        |
| C.4.3.      | Analisis Perbandingan Alokasi dan Sebaran SR pada Ketiga Skenario Penetrasi PLTS                                   | 72        |
| C.4.4.      | Analisis Perbandingan Alokasi PFR dan SR Tanpa dan Dengan Penetrasi PLTS                                           | 74        |
| C.4.5.      | Analisis Perbandingan Biaya Tanpa dan Dengan Masuknya PLTS                                                         | 76        |
| <b>D.</b>   | <b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>                                                                                        | <b>77</b> |
| <b>E.</b>   | <b>REFERENSI</b>                                                                                                   | <b>79</b> |

|                                                                                                                                                                       |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Gambar 1. Perbandingan hasil dispatch ketiga skenario beban (a) Hari beban puncak Terendah, (b) Hari beban puncak tertinggi, (c) Hari beban fluktuasi tertinggi ..... | xvi   |
| Gambar 2. Perbandingan biaya operasi UC tanpa dan dengan kekangan PFR .....                                                                                           | xvii  |
| Gambar 3. (a) Perbandingan alokasi PFR skenario 2 dan skenario 3, (b) Perbandingan biaya operasi skenario 1, 2, dan 3 pada beban puncak tertinggi dan terendah.....   | xviii |
| Gambar 4. (a) Alokasi PFR pada ketiga skenario penetrasi PLTS, (b) Alokasi PFR tanpa dan dengan pertimbangan penetrasi PLTS .....                                     | xix   |
| Gambar 5. Karakteristik respon frekuensi setelah kontingensi pembangkit [5] .....                                                                                     | 2     |
| Gambar 6. Diagram alir proses desain operasi dan implementasi .....                                                                                                   | 6     |
| Gambar 7. Aproksimasi linear fungsi biaya .....                                                                                                                       | 8     |
| Gambar 8. Karakteristik <i>primary frequency response</i> unit I [7] .....                                                                                            | 12    |
| Gambar 9. Model governor [11] .....                                                                                                                                   | 16    |
| Gambar 10. Kurva <i>duck curve</i> [13] .....                                                                                                                         | 19    |
| Gambar 11. <i>Single line diagram</i> sistem Timor .....                                                                                                              | 20    |
| Gambar 12. <i>Flowchart</i> utama program <i>unit commitment</i> .....                                                                                                | 25    |
| Gambar 13. Skenario beban.....                                                                                                                                        | 33    |
| Gambar 14. Hasil <i>dispatch</i> dan SR saat skenario beban puncak terendah .....                                                                                     | 35    |
| Gambar 15. Hasil <i>dispatch</i> dan SR saat beban puncak tertinggi .....                                                                                             | 35    |
| Gambar 16. Hasil <i>dispatch</i> dan SR saat fluktuasi beban terbesar .....                                                                                           | 36    |
| Gambar 17. Ketersediaan <i>spinning reserve</i> tiap skenario beban .....                                                                                             | 38    |
| Gambar 18. Perbandingan biaya total pembangkitan tiap skenario beban .....                                                                                            | 39    |
| Gambar 19. Perbandingan biaya energi tiap skenario beban .....                                                                                                        | 40    |
| Gambar 20. Hasil <i>dispatch</i> dan SR pembangkit saat beban puncak terendah dengan kekangan jaringan .....                                                          | 41    |
| Gambar 21. Hasil <i>dispatch</i> dan SR pembangkit saat beban puncak tertinggi dengan kekangan jaringan .....                                                         | 41    |
| Gambar 22. Aliran daya tiap saluran saat beban puncak terendah.....                                                                                                   | 43    |
| Gambar 23. Aliran daya tiap saluran saat beban puncak tertinggi.....                                                                                                  | 44    |
| Gambar 24. Perbandingan biaya tanpa dan dengan kekangan transmisi.....                                                                                                | 45    |
| Gambar 25. Hasil <i>dispatch</i> , <i>primary reserve</i> dan SR saat skenario beban puncak terendah .....                                                            | 46    |
| Gambar 26. Hasil <i>dispatch</i> , <i>primary reserve</i> dan SR saat skenario beban puncak tertinggi.....                                                            | 47    |
| Gambar 27. Alokasi SR skenario 2 .....                                                                                                                                | 49    |
| Gambar 28. Alokasi PFR tiap jenis pembangkit saat beban puncak terendah.....                                                                                          | 50    |
| Gambar 29. Alokasi PFR tiap jenis pembangkit saat beban puncak tertinggi.....                                                                                         | 51    |
| Gambar 30. Perbandingan biaya tanpa dan dengan PFR.....                                                                                                               | 52    |
| Gambar 31. Hasil <i>dispatch</i> , <i>primary reserve</i> dan SR skenario 3 saat beban puncak terendah.....                                                           | 54    |
| Gambar 32. Hasil <i>dispatch</i> , <i>primary reserve</i> dan SR skenario 3 saat beban puncak tertinggi.....                                                          | 55    |
| Gambar 33. Alokasi PFR tiap pembangkit saat beban puncak terendah.....                                                                                                | 58    |
| Gambar 34. Alokasi PFR tiap pembangkit saat beban puncak tertinggi .....                                                                                              | 58    |



UNIVERSITAS  
GADJAH MADA

**PERENCANAAN OPERASI JANGKA PENDEK SISTEM NUSA TENGGARA TIMUR DENGAN  
PERTIMBANGAN MASUKNYA PLTS DAN  
KEKANGAN OPERATIONAL RESERVE: UNIT COMMITMENT DENGAN KEKANGAN PRIMARY  
FREQUENCY RESPONSE STEADY  
STATE**

KHOIRUL KHABIBI, Ir. Sariya, S.T., M.T., Ph.D., IPU.; Prof. Dr. Ir. Sasongko Pramono H, DEA.

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 35. Alokasi <i>spinning reserve</i> tiap pembangkit pada hari beban puncak terendah .....               | 59 |
| Gambar 36. Alokasi <i>spinning reserve</i> tiap pembangkit pada hari beban puncak tertinggi .....              | 60 |
| Gambar 37. Perbandingan alokasi PFR pada skenario 2 dan 3 .....                                                | 62 |
| Gambar 38. Perbandingan biaya operasi skenario 1, 2, dan 3 saat beban puncak tertinggi dan terendah.....       | 63 |
| Gambar 39. Kurva <i>net load</i> tiga skenario Penetrasi PLTS pada beban puncak tertinggi.....                 | 65 |
| Gambar 40. Hasil <i>dispatch</i> , <i>primary reserve</i> dan SR skenario penetrasi PLTS tertinggi .....       | 66 |
| Gambar 41. Hasil <i>dispatch</i> , <i>primary reserve</i> dan SR skenario penetrasi PLTS terendah .....        | 66 |
| Gambar 42. Hasil <i>dispatch</i> , <i>primary reserve</i> dan SR skenario penetrasi PLTS kondisi ekstrim ..... | 67 |
| Gambar 43. Alokasi PFR pada semua skenario penetrasi PLTS .....                                                | 71 |
| Gambar 44. Sebaran alokasi PFR pada ketiga skenario penetrasi PLTS .....                                       | 72 |
| Gambar 45. Alokasi <i>spinning reserve</i> pada ketiga skenario penetrasi PLTS .....                           | 73 |
| Gambar 46. Sebaran alokasi SR pada ketiga skenario penetrasi PLTS .....                                        | 74 |
| Gambar 47. Alokasi PFR tanpa dan dengan pertimbangan masuknya PLTS .....                                       | 75 |
| Gambar 48. Alokasi SR tanpa dan dengan pertimbangan masuknya PLTS.....                                         | 75 |

|                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1. Data teknis generator .....                                                                                                                                                | 20 |
| Tabel 2. Data aproksimasi linear biaya pembangkit .....                                                                                                                             | 21 |
| Tabel 3. Data transmisi .....                                                                                                                                                       | 23 |
| Tabel 4. Format input data tipikal generator .....                                                                                                                                  | 26 |
| Tabel 5. Format input data biaya generator .....                                                                                                                                    | 27 |
| Tabel 6. Format Input Model Biaya Generator .....                                                                                                                                   | 27 |
| Tabel 7. Format input data <i>operational reserve</i> .....                                                                                                                         | 28 |
| Tabel 8. Format input data kondisi awal generator .....                                                                                                                             | 29 |
| Tabel 9. Format input data beban sistem .....                                                                                                                                       | 29 |
| Tabel 10. Format input data <i>output</i> PLTS .....                                                                                                                                | 29 |
| Tabel 11. Format input data SR kontingensi .....                                                                                                                                    | 30 |
| Tabel 12. Format input data SR <i>power</i> .....                                                                                                                                   | 30 |
| Tabel 13. Format input data SR <i>percentage</i> .....                                                                                                                              | 30 |
| Tabel 14. Format input <i>bus data</i> .....                                                                                                                                        | 30 |
| Tabel 15. Format input data transmisi .....                                                                                                                                         | 31 |
| Tabel 16. Format input data beban tiap bus .....                                                                                                                                    | 31 |
| Tabel 17. Format input data beban PLTS .....                                                                                                                                        | 31 |
| Tabel 18. Asumsi data .....                                                                                                                                                         | 34 |
| Tabel 19. Hasil penjadwalan pembangkit pada beban puncak skenario 1 .....                                                                                                           | 36 |
| Tabel 20. Hasil penjadwalan pembangkit pada beban puncak skenario 1 dengan kekangan transmisi<br>.....                                                                              | 42 |
| Tabel 21. Beban saluran saat beban terendah dan tertinggi .....                                                                                                                     | 44 |
| Tabel 22. Hasil penjadwalan pembangkit pada beban puncak skenario 2 .....                                                                                                           | 47 |
| Tabel 23. Asumsi data parameter frekuensi pada Sistem Timor .....                                                                                                                   | 53 |
| Tabel 24. Sebaran unit pembangkit menyala skenario PFR dan respon inersia pada dua skenario<br>beban .....                                                                          | 53 |
| Tabel 25. Hasil penjadwalan pembangkit pada beban puncak .....                                                                                                                      | 55 |
| Tabel 26. Sebaran unit pembangkit menyala pada skenario kekangan PFR 2 dan 3 .....                                                                                                  | 61 |
| Tabel 27. Perbandingan biaya total dan biaya pembangkitan skenario uc tanpa kekangan PFR,<br>dengan kekangan PFR <i>steady</i> , serta dengan kekangan <i>Inertia</i> dan PFR ..... | 63 |
| Tabel 28. Daya yang diproduksi PLTS .....                                                                                                                                           | 64 |
| Tabel 29. Perbandingan hasil <i>dispatch</i> tiga skenario pada saat penetrasi PLTS tertinggi (pukul<br>12.00) .....                                                                | 68 |
| Tabel 30. Sebaran unit pembangkit menyala pada tiga skenario masukan PLTS .....                                                                                                     | 70 |
| Tabel 31. Perbandingan biaya total dan biaya pembangkitan pada ketiga skenario penetrasi PLTS<br>dan tanpa penetrasi PLTS .....                                                     | 76 |