

STUDI DAMPAK PEMBANGUNAN PLTN-DESALINASI DI MADURA TERHADAP SEKTOR EKONOMI DAERAH

Bambang Eko Afiatno¹⁾, Mochamad Nasrullah²⁾, Sriyana²⁾

ABSTRAK

STUDI DAMPAK PEMBANGUNAN PLTN-DESALINASI DI MADURA TERHADAP SEKTOR EKONOMI DAERAH. Tujuan utama studi ini yaitu memperkirakan dampak pembangunan dan pengoperasian awal pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN)-desalinasi di Pulau Madura terhadap ekonomi daerah tersebut hingga tahun 2018. Proyeksi jangka panjang keluaran (output, X) ekonomi Madura menggunakan alat analisis model I-O (input-output) dinamis Leontief dan untuk PDRB - permintaan akhir (Y) menggunakan model time series dengan random growth adjustment yang didasarkan pada autoregressive trend model. Karena Tabel I-O Madura belum tersedia, maka diperlukan penyusunan Tabel I-O Madura tahun 2000 dengan metode RAS dan modifikasi. Proyek PLTN ini menggunakan teknologi SMART dengan 2 unit pembangkit (kapasitas 100 MWe per unit, keluaran total 200 MWe), tetapi tidak dibangun bersamaan (selisih setahun). Sedangkan desalinasinya menggunakan MED 4 unit dengan kapasitas masing-masing 10.000 m³/hari. Masa 3 pembangunan PLTN-Desalinasi (tahap pelaksanaan) terhitung sejak tahun 2014 hingga 2018 (selama 5 tahun masa pembangunan) yang didahului dengan tahap pra-proyek (tahun 2010-2013). Total kebutuhan investasi proyek ini adalah US\$ 357,87 juta (tahun 2002). Pada saat kontrak ditandatangani (turn key contract) tahun 2009, nilai tersebut disesuaikan dengan expected inflation US\$ sebesar 1,5% per tahun, sehingga nilai investasinya menjadi sebesar US\$ 397.18 juta dan pada tahun 2014 (awal pembangunan) menjadi sebesar US\$ 427.87 juta. Pada akhir proyek pembangunan (2018), nilai total investasinya adalah sebesar US\$ 440.79 juta. Apabila biaya ganti rugi tanah dan perijinan dihitung, maka nilai proyek menjadi US\$ 476 juta. Pada tahap pra-proyek (2010-2013), secara kumulatif aktivitas ganti-rugi lahan dan perijinan sebesar Rp 114,11 milyar (US\$ 10.69 juta) berdampak tidak langsung – transmisi melalui konsumsi rumah tangga dan pemerintah – terhadap ekonomi Madura. Hasil simulasi I-O dinamis (Tabel I-O Madura tahun 2000, 10x10) menunjukkan bahwa peningkatan konsumsi itu berakibat pada penambahan keluaran ekonomi Madura, PDRB, dan tenaga kerja yaitu masing-masing secara kumulatif sebesar Rp 146,39 milyar, Rp79,20 milyar, dan 7.428 orang. Secara keseluruhan aktivitas proyek pada tahap pelaksanaan (2014-2017) diperkirakan Rp 231,37 milyar (US\$ 19.36 juta) yang berdampak langsung terhadap ekonomi Madura. Dampak itu ditransmisikan melalui investasi yang diproduksi sektor 7 (bangunan-konstruksi), di mana dari simulasi I-O dinamis untuk dampak tersebut (kumulatif) adalah peningkatan keluaran, PDRB, dan penyerapan tenaga kerja yang masing-masing sebesar Rp 335,43 milyar, Rp 159,29 milyar, dan 14.941 orang. Pada tahap operasi awal proyek tahun 2018 selama 9 bulan untuk PLTN unit pertama (100MWe), dua unit desalinasi (20.000m³/hari). Berdasarkan skenario 3 perbedaan harga dan produksi neto (listrik dan air dikurangi pemakaian sendiri sebesar 6,5% dan 2%) diperoleh tambahan keluaran baru yaitu Rp 337,64 milyar (skenario pertama) dan Rp 398,08 milyar (skenario kedua). Hasil simulasi I-O dinamis (skenario pertama) menghasilkan tambahan keluaran, PDRB, dan penyerapan tenaga kerja masing-masing Rp 441,6 milyar, Rp 52,4 milyar, dan 4.544 orang. Hasil skenario kedua yaitu meningkatkan keluaran ekonomi Madura sebesar Rp 519,7 milyar, PDRB sekitar Rp 58,7 milyar dan tenaga kerja sebanyak 5.313 orang.

Kata Kunci: model I-O dinamis-statis PDRB-permintaan akhir; tenaga kerja; PLTN-desalinasi; energi listrik; air bersih

ABSTRACT

A STUDY OF THE IMPACTS OF NPP-DESALINATION DEVELOPMENT IN MADURA ON SECTORAL REGIONAL ECONOMY. This study aims to assess the economic impact of construction and early operation of the nuclear power plant (NPP)-desalination project in the island of Mad Lira until the year 2018. Long-term projection on economic output (X) of Madura uses Leontief dynamic 1-0 (input-output) model, and for GRDP-final demand (Y) uses time series model with random growth adjustment based on autoregressive model. Since the Madura 1-0 Table is not available, then it is necessary to construct it for 2000 using RAS method and some modifications. The NPP project will use SMART technology with 2 units of power generators (100 MWe capacity per unit, total output 200 MWe), but to be built sequentially with one year lag. As for the desalination will use 4 units MED with each unit capacity of 10.000 m³/day. The construction stage will take 5 years to be completed (2014-2018), preceded by the pre-project stage along 2010-2013. Total investment requirements of the project is amounted to US\$ 357,87 million (in 2002). At the time when the contract (turn key contract) is signed in 2009, the value will become US\$ 397.18 million, and in 2014 (early construction) will be US\$ 427.87 million. At the end of the project (2018), total investment requirements will amount to US\$ 440.79 million. To include land make up payment and licenses costs the project will be worth US\$ 476. In the pre-project stage (2010-2013), cumulatively, land make up payment and licenses management activities as much as Rp 114.11 billion (US\$ 10.69 million) has indirect effect—transmitted through private and government consumption – onto Madura economy. Dynamic 1-0 simulation results (2000 Madura 1-0 Table, 10x10) show that the rise in consumption generate increases in output, GRDP and employment respectively in cumulative as much as Rp 146.39 billion, Rp79.20 billion, and 7,428 men. In overall, project activities in construction stage (2014-2017) estimated to Rp 231.37 billion (US\$19.36 million) which has direct effect on Madura economy. The impact is transmitted through investment which is produced by sector 7 (construction), where from dynamic 1-0 simulation for this effect (cumulative) are increases in output, GRDP and employment respectively as much as Rp 335.43 billion, Rp 159.29 billion, and 14,941 men. In pre-operation stage in 2018 for 9 months for the first NPP unit (100MWe), and two units desalination (20.000m³/day). Based on price differencing scenarios and net production (electricity and water minus internal consumption amounted to 6,5% and 2%) new output is obtain as much as Rp 337.64 billion (first scenario) and Rp 398.08 billion (second scenario). Results from dynamic 1-0 simulation with first scenario show increases in output, GRDP and employment respectively up to Rp 441.6 billion, Rp 52.4 billion, and 4,544 men. As for the second scenario, the Madura economic output increases to Rp 519.7 milyar, GRDP rises to Rp 58.7 billion and employment for 5.313 men.

Keywords: I-O model model dynamic-static; GRDP-final demand; labor; NPP-desalination; electricity; water;

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Pemikiran

Infrastruktur berperan sangat penting dalam menunjang keberhasilan pembangunan di segala bidang. Keterlambatan penyediaan atau pembangunan infrastruktur dapat menyebabkan kemacetan dalam melakukan ekspansi ekonomi seperti yang pernah dialami oleh Korea Selatan. Penyediaan infrastruktur yang

1)Dosen dan Peneliti Fakultas Ekonomi Universitas Airlangga Surabaya

2)Staf Peneliti Pusat Pengembangan Energi Nuklir - BATAN

memadai dapat mendorong pertumbuhan ekonomi dan meningkatkan standar hidup sehingga pada akhirnya dapat memperbaiki kesejahteraan masyarakat. Sejak krisis ekonomi melanda Indonesia pada tahun 1998, perhatian pemerintah tersita pada membenahan sektor moneter dan keuangan negara sehingga banyak pembangunan infrastruktur yang tertunda, termasuk biaya pemeliharaan yang tersedia juga sangat minim. Kondisi infrastruktur yang kurang memadai, khususnya untuk memenuhi salah satu kebutuhan yang mendasar bagi masyarakat, seperti: air bersih dan energi listrik akan menghalangi kelancaran aktivitas produksi dan distribusi suatu daerah.

Untuk mengurangi kesenjangan pertumbuhan ekonomi antarwilayah, salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan membangun infrastruktur sehingga dapat menunjang dan mempercepat perkembangan suatu daerah. Pada intinya pengadaan infrastruktur adalah menyediakan fasilitas umum. Dari berbagai macam fasilitas umum yang ada, secara khusus studi ini menelaah mengenai penyediaan infrastruktur, baik tenaga listrik sebagai salah satu sumber energi maupun air bersih yang merupakan salah satu kebutuhan dasar manusia. Terlebih lagi bahwa Pulau Madura sebagai wilayah kepulauan di Jawa Timur merupakan wilayah yang sangat potensial dan belum tergarap secara optimal, namun wilayah kepulauan ini pada umumnya belum berkembang, bahkan cenderung sebagai daerah tertinggal atau daerah miskin. Ketertinggalan wilayah ini berdampak pada tingkat kesejahteraan masyarakat yang masih rendah, kualitas SDM (sumberdaya manusia) yang rendah, tingkat kesehatan yang buruk serta daya beli yang rendah.

Salah satu infrastruktur yang menunjang industri di Pulau Madura, khususnya pengembangan industri di Bangkalan adalah listrik dan air bersih. Listrik di Madura mengandalkan pasokan dari jaringan listrik Jawa-Bali disebut jaringan JAMALI (Jawa, Madura, dan Bali) sehingga sangat tergantung pada jaringan tersebut. Padahal listrik merupakan wujud energi yang penting/ strategis bagi kehidupan masyarakat modern. Dari waktu ke waktu kebutuhan listrik semakin meningkat karena hampir seluruh aspek kehidupan masyarakat modern selalu bergantung pada listrik.

Sedangkan untuk air bersih, di Madura relatif sulit diperoleh sumber air yang memadai karena daerah Madura tidak ada daerah pegunungan. Bisa dikatakan bahwa topografi di Madura adalah dataran rendah dan beriklim kering sehingga tergolong daerah tandus. Hal inilah salah satu yang menyebabkan kondisi Madura masih agak terbelakang dan kurang berkembang. Bahkan kebutuhan bersih untuk industri di Bangkalan pernah direncanakan dipasok dari daerah Umbulan, Kabupaten Pasuruan, di mana air dari Umbulan juga digunakan untuk memenuhi kebutuhan Surabaya.

Untuk menunjang pertumbuhan ekonomi yang tinggi di masa mendatang, maka diperlukan infrastruktur yang memadai. Pulau Jawa yang padat penduduk dan sebagai pusat industri memerlukan dukungan pembangunan infrastruktur yang dapat menunjang perkembangan ekonomi, termasuk Madura atau Bangkalan yang hendak dikembangkan

menjadi daerah industri baru sejalan dengan pembangunan Jembatan SURAMADU. Keterlambatan pembangunan dan kondisi infrastruktur yang buruk dapat berakibat terjadi penyumbatan (*bottle-neck*) transportasi dan berbagai hambatan pembangunan sehingga mengganggu pertumbuhan ekonomi. Salah satu upaya untuk memenuhi kebutuhan infrastruktur tersebut, maka di Madura akan dibangun pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN)-desalinasi.

II. TUJUAN PENELITIAN

2.1. Tujuan Studi

Berdasarkan latar belakang pemikiran tersebut di atas, maka tujuan studi ini terdiri dari dua bagian yaitu tujuan umum dan khusus.

2.1.1. Tujuan Umum

Tujuan umum studi ini yaitu diharapkan hasil studi ini dapat memperkirakan dampak pembangunan dan pengoperasian awal pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN)- desalinasi di pulau Madura terhadap ekonomi daerah tersebut hingga tahun 2018.

2.1.2. Tujuan Khusus

Ada beberapa tujuan khusus dari studi ini yaitu:

1. mengidentifikasi sektor ekonomi (industri, perdagangan, pertanian, transportasi, jasa, dan lainnya) yang terpengaruh oleh pembangunan proyek PLTN-desalinasi;
2. menghitung koefisien elastisitas pengaruh pertumbuhan sektor-sektor tersebut terhadap PDRB untuk seluruh kabupaten di Madura;
3. mengetahui secara komprehensif tentang kondisi terkini dari sektor-sektor tersebut;
4. mengidentifikasi intensitas dan pentahapan dampak ekonomi riil terhadap industri daerah pada semua aspek (terutama produksi dan penyerapan tenaga kerja) selama tahap persiapan, konstruksi, komisioning, dan pada akhirnya operasi awal PLTNdesalinasi;
5. mengetahui perubahan ekonomi jangka panjang di Madura yang diakibatkan oleh berbagai skenario perubahan, termasuk pembangunan PLTN-desalinasi.

2.2. Manfaat Studi

Hasil studi ini diharapkan dapat memberikan masukan dari aspek ekonomi di Madura dalam pengambilan keputusan atau kebijakan (policy research) yang dilakukan oleh pemerintah, khususnya BATAN atas rencana pembangunan PLTN dan air bersih di pulau Madura. Termasuk pula hasil studi ini dapat digunakan untuk perencanaan pembangunan di masa mendatang, khususnya di wilayah Madura.

III. DATA DAN ASUMSI YANG DIGUNAKAN

3.1. Data yang digunakan

Tabel 1. Proporsi Beban Biaya Setiap Jenis Pekerjaan

%	Activities	Breakdown	
		%	Activities
15	Engineering design and management (including site management)	50	Nuclear engineering
		10	Civil engineering
		23	Mechanical engineering
		17	Electrical engineering, instrumentation, & controls
		100	
50	Material and equipment (including transport insurance and spare)	26	Nuclear steam supply system
		30	Balance of nuclear island
		12	Turbine generator
		32	Balance of conventional island
		100	
35	Construction and startup (including site procured, materials, and site facilities)	62	Civil
		28	Mechanical
		10	Electric, control, instrumentation
100		100	

Sumber: Muisid Dikotolono, M.Sc, Infrastruktur Industri,
disampaikan pada "Nuclear Reactor's Construction Problems, Jakarta 26 - 28 Agustus 1982

Tabel 2. Estimasi Biaya Basis Proyek PLTN SMART
dengan Dua Unit Berkapasitas 200 MWe

ITEM	SCOPE of SUPPLY	SMART (2 unit)
NSSS & T/G	NSSS package including system desain and T/G package	95,429.00
Civil/Structure, Architecture	Equipment and site materials for construction works, including consumable, construction equipment and tools, etc	52,978.00
Electrical and Mechanical work	Equipment and site materials for installation works, including consumable, construction equipment and tools, etc	127,797.00
	Commissioning and start up testing	
DIRECT COST		276,204.00
Engineering	Design and engineering including civil/ arch, piping, electric and I&C, etc, Project management	20,105.00
Owner's cost	Ocean freight & insurance, Owner's Organization	12,897.00
INDIRECT COST		33,002.00
Contingency	Project contingency	13,810.00
TOTAL COSTS		323,016.00
UNIT CAPITAL COST (US\$/kWe)		1,615.08
Kebutuhan Investasi desalinasi (MED) untuk 4 unit dengan kapats @10.000 m ³ /day		34,852.32
Pengadaan Tanah (US\$ ribu) dengan luas 250 hektar dan Rp 100.000/ m ²		27,472.53
Pembelian Bahan Bakar untuk kebutuhan 1 tahun saat komisioning (US\$ ribu)		7,008.00
Total Kebutuhan Investasi di darat termasuk tanah dan Bahan Bakar (Juta US\$)		357.87
Total Kebutuhan Investasi (Ribu US\$)		392,348.86
Total Kebutuhan Investasi (Juta US\$)		392.35

Sumber: BATAN, R.E., dan KAERI, 2002, Preliminary Economic Feasibility Study of Nuclear Desalination in Madura Island in Indonesia

Tabel 3. Perhitungan Alokasi Besaran Investasi (US\$ juta) untuk Pembangunan PLTN SMART-Desalinasi

A	Total Biaya Proyek pada saat kegiatan proyek dimulai (tahun 2014)	427,87
B	Biaya untuk Material dan Equipment utama (dilakukan di Luar Negeri)	214,37
C	Biaya untuk Engineering Design	26,61
D	Total biaya proyek pembangunan sampai pada akhir tahun proses pembangunan (tahun 2018)	199,81
E	Total Proyek saat berakhir masa pembangunan (US\$ juta)	440,79
F	Manufakturing dan pengadaan komponen utama di Luar Negeri	98,94
G	Test, Pengisian Bahan Bakar dan Komisioning	16,71
H	Perkiraan besar biaya yang dikeluarkan untuk partisipasi dalam negeri dalam masa pembangunan (D-F-G)	84,16
I	Perkiraan partisipasi dalam negeri (H/A)	19,67%

IV. METODE PENELITIAN

4.1. Sampel, Jenis, dan Sumber Data (Teknik Pengumpulan Data)

Studi ini menggunakan sampel data kerat lintang (cross section) dalam penyusunan Tabel I-O Madura tahun 2000. Selain itu juga digunakan sampel data runtut waktu (time series) tahun 1983-2003 untuk proyeksi ekonomi, seperti: PDRB, deflator PDRB/ inflasi, dan tenaga kerja.

Jenis data menurut cara memperoleh data yang digunakan dalam studi ini adalah jenis data primer-sekunder yang diperoleh dari BPS (Badan Pusat Statistik) pusat ataupun daerah. Selain itu juga diperoleh data dari PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur di Surabaya dan Pamekasan, PDAM dan Cipta Karya - Dinas Kimpraswil (Pemukiman dan Prasarana Wilayah) seluruh kabupaten di Madura, P2AT (Pengembangan dan Pengelolaan Air Tanah)-Dinas Pengairan Provinsi Jawa Timur di Surabaya, Dinas Pendapatan Provinsi Jawa Timur di Surabaya, P2EN-BATAN di Jakarta, PT Sasakura Indonesia di Jakarta, dan berbagai lembaga internasional, antara lain seperti: *Uranium Information Centre (UIC)*.

Walaupun penelitian ini menggunakan data sekunder, tetapi diperlukan wawancara dengan pejabat/ staf instansi tersebut untuk merekonstruksi proses pengumpulan data, definisi, kuesioner, unit analisis, dan perilaku data sekunder tersebut, termasuk perkembangan mutakhir dari obyek yang diteliti. Unit analisis untuk seluruh variabel adalah tingkat regional (Madura) dan hal ini menentukan pengukuran variabel yang dipakai dalam studi ini .

4.2. Teknik Analisis dan Pengolahan Data

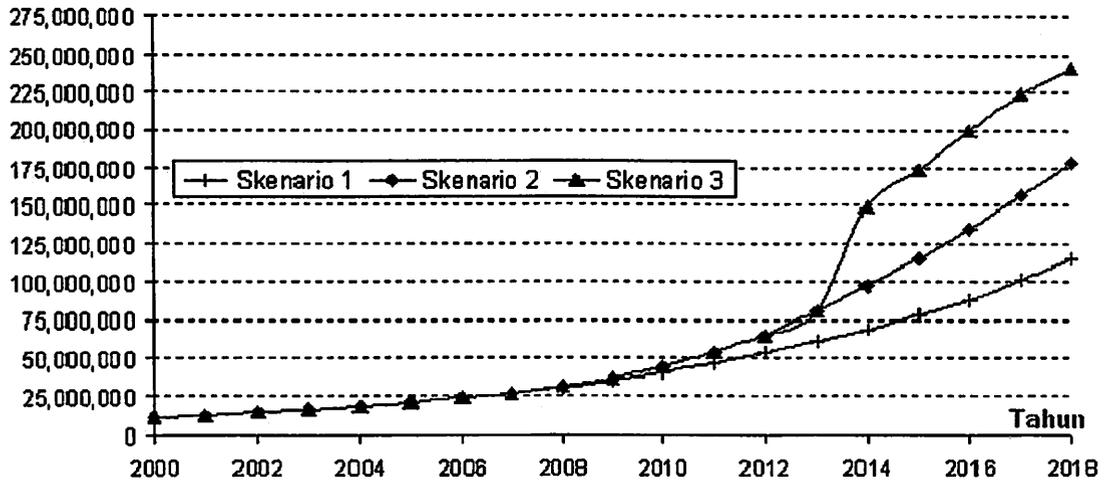
Studi ini menggunakan teknik analisis yang menonjolkan teknik analitik daripada deskriptif. Teknik analisis (analitik) ini melibatkan interpretasi menggunakan pendekatan kuantitatif (manipulasi statistik) dan kualitatif (penalaran kritis) terhadap data yang terkumpul. Data diproses dengan menggunakan **program komputasi**, termasuk juga untuk **analisis data dan model**. Selain itu dalam melakukan **proyeksi seperti Metode Proyeksi dan Verifikasi Variabel Y (PDRB) dan pengolahan I-O statis-dinamis** menggunakan beberapa perangkat-lunak (*software*) seperti Teknik Estimasi Model I-O Dinamis dan Teknik analisis Model I-O Statis. Program komputasi yang digunakan untuk mengolah data (tabulasi) adalah Microsoft Excel for Windows-XP (2003) sedangkan untuk analisis data dan model memakai program Microsoft Excel dan S-PLUS 2000 Professional Release-1 Tahun 1999.

Mengingat studi ini menganalisis dampak proyek PLTN-desalinasi yang dibangun pada tahun 2014 dan diperkirakan tahap awal beroperasi pada tahun 2018, maka diperlukan proyeksi ekonomi Madura dalam jangka panjang. Tentu saja model I-O statis yang disusun pada tahap awal tidak dapat digunakan sebagai alat analisis. Dengan menggabungkan antara tabel I-O dan skenario-proyeksi, maka alat analisis yang digunakan adalah model I-O dinamis. Hasil perhitungan dengan model I-O dinamis digunakan untuk menganalisis dampak pembangunan proyek PLTN-desalinasi di Madura. Beberapa analisis yang dihasilkan dari model I-O dinamis ini, antara lain: mengetahui proyeksi keluaran (*output*) berdasarkan proyeksi jangka panjang PDRB Madura, perubahan koefisien I-O (*A* dinamis), dan pengaruh dampak proyek tersebut terhadap keluaran.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memperoleh proyeksi keluaran digunakan tiga skenario. **Skenario pertama**, perkembangan ekonomi (PDRB) Madura seperti kondisi saat ini; **Skenario kedua**, ekonomi Madura berkembang dengan pesat akibat Jembatan Suramadu telah beroperasi sejak akhir 2006 atau awal 2007 dan **Skenario ketiga**, dengan perkembangan ekonomi Madura seperti pada skenario kedua, tetapi koefisien I-O dan investasi-perubahan stok barang yang disusun atas dasar ekonomi Madura tahun 2000 diubah dan disesuaikan dengan perkembangan ekonomi Madura tahun 2013.

Hasil proyeksi keluaran dalam harga berlaku dengan model I-O dinamis dari ketiga skenario tersebut dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Keluaran (Output) dalam Harga Berlaku di Madura Tahun 2000-2018 dari Hasil I-O Dinamis dengan Ketiga Skenario

Perlu diketahui bahwa perubahan koefisien I-O tersebut dihitung dengan metode RAS berdasarkan nilai proyeksi PDRB atas harga berlaku dan rasio permintaan akhir dengan keluaran pada tahun 2000. Kemudian dihitung nilai investasi baru dengan ICOR 3,5 – sama dengan ICOR tahun 1993-1996, ketika ekonomi Madura ataupun Jawa Timur dalam kondisi normal – dan perubahan stok persediaan barang yang dianggap sama seperti kondisi Tabel I-O Madura tahun 2000. Dengan demikian diperoleh koefisien baru yaitu koefisien masukan (*input*) dari Tabel I-O Madura tahun 2013 dan matriks koefisien investasi-perubahan persediaan barang. Kedua koefisien yang baru tersebut dan proyeksi PDRB harga berlaku (permintaan akhir) digunakan untuk memperoleh proyeksi keluaran tahun 2014-2018.

Hasil proyeksi keluaran dalam harga berlaku tersebut dengan skenario ketiga dalam kurun waktu 2014-2018 terlihat lebih tinggi (patah pada tahun 2014, karena perubahan kedua koefisien yaitu koefisien masukan dan koefisien investasi) dibanding dengan skenario pertama dan kedua seperti pada **Gambar 5.1**. Hal ini berarti bahwa keluaran dalam harga berlaku yang dihasilkan meningkat secara tajam dengan skenario ketiga. Sebagai perbandingan, pada tahun 2014 dengan *skenario pertama* menghasilkan proyeksi keluaran dalam harga berlaku sekitar Rp 69,1 trilyun, *skenario kedua* sebesar Rp 97,7 trilyun, dan *skenario ketiga* sebesar Rp 149,1 trilyun. Dengan ketiga skenario itu, pada tahun 2018 nilai keluaran (*at current price*) masing-masing mencapai Rp 115,5 trilyun (*skenario pertama*), sebesar Rp 178,8 trilyun (*skenario kedua*), dan sekitar Rp 249,6 trilyun (*skenario ketiga*).

Struktur ekonomi Madura pada tahun 2013 diperkirakan telah berubah secara signifikan, maka matriks koefisien masukan I-O tahun 2000 diubah dan disesuaikan kembali dengan hasil proyeksi permintaan akhir atau PDRB Madura tahun 2013 melalui metode RAS. Selain itu juga dicari matriks koefisien investasi dan perubahan persediaan barang yang baru. Komposisi keluaran yang dihasilkan ekonomi Madura sedikit berbeda dibanding dengan nilai tambah bruto. Perubahan struktur ekonomi Madura yang pesat disebabkan oleh keberadaan Jembatan Suramadu setelah dioperasikan, di mana peranan sektor modern semakin menonjol, bahkan sektor industri mulai menunjukkan peranan yang sangat signifikan pada tahun 2013 dibanding tahun 2000. Peranan keluaran sektor perdagangan relatif tetap yakni sekitar 20% pada tahun 2013 dibanding tahun 2000 sedangkan peranan keluaran sektor pertanian mengalami penurunan menjadi sebesar 31,31%. Nilai keluaran ekonomi Madura pada tahun 2013 sebesar Rp 81,195 trilyun atau meningkat 6,79 kali dibanding tahun 2000 (meningkat hampir 2,5 kali dalam harga konstan 1993). Jadi, nilai transaksi permintaan antara di Madura sekitar Rp 25,5 trilyun pada tahun 2013.

Tabel 4. Struktur (PDRB) dalam Harga Berlaku, Keluaran, dan Tenaga Kerja dari Tabel I-O Madura Tahun 2000 dan 2013, 10 x 10 (dalam Rp juta)

Sektor I-O Tahun 2000	Kode	Nilai Tambah Bruto PDRB	%	Keluaran/ Output	%	Tenaga Kerja (Org)	%
Pertanian (Pangan, Pkebunan, Hutan, P'kanan, P'ternakn)	1	3,094,728.94	48.41	4,655,745.08	39.27	1,108,585	71.98
Pertambangan-Penggalian (Minyak-Gas Bumi-Garam)	2	600,635.62	8.98	1,791,594.88	15.11	9,002	0.59
Ind. Pdt Karya (Mkn-Tmbk au Tekstil, Bambu-Kayu, &Kertas)	3	154,079.37	1.79	238,325.71	2.01	89,677	5.83
Ind. Pdt Modal (Kimia, Mineral, Pengilangan, Mesin, EITronk, Lain)	4	22,529.62	0.28	67,540.63	0.67	13,113	0.85
Listrik	5	41,317.23	0.48	74,858.00	0.63	223	0.01
Air Bersih	6	7,581.35	0.09	11,349.81	0.10	442	0.03
Bangunan-Konstruksi	7	217,860.05	2.53	428,595.14	3.60	32,757	2.13
Perdagangan-Hotel-Restoran	8	1,740,333.93	20.22	2,294,988.04	19.38	145,337	9.45
Transportasi-Komunikasi	9	272,208.53	3.18	391,488.68	3.30	57,299	3.73
Jas a-jas a (Bank-Keu, Sewa, Js. Perush, Pemerintah, Sosial)	10	1,556,153.67	18.08	1,903,300.20	16.05	83,310	5.42
Jumlah		6,607,406.32	100.00	11,855,785.05	100.00	1,537,805	100.00
Sektor I-O Tahun 2013	Kode	Nilai Tambah Bruto PDRB	%	Keluaran/ Output	%	Tenaga Kerja (Org)	%
Pertanian (Pangan, Pkebunan, Hutan, P'kanan, P'ternakn)	1	22,779,683.78	40.94	25,422,488.49	31.31	1,494,419	48.69
Pertambangan-Penggalian (Minyak-Gas Bumi-Garam)	2	711,274.71	1.28	1,494,349.67	1.84	13,449	0.42
Ind. Pdt Karya (Mkn-Tmbk au Tekstil, Bambu-Kayu, &Kertas)	3	1,151,139.83	2.07	3,697,894.34	4.62	335,592	10.48
Ind. Pdt Modal (Kimia, Mineral, Pengilangan, Mesin, EITronk, Lain)	4	830,894.75	1.49	10,830,194.78	13.34	206,795	6.43
Listrik	5	522,757.03	0.94	1,258,719.10	1.55	773	0.02
Air Bersih	6	122,940.87	0.22	223,730.78	0.28	930	0.03
Bangunan-Konstruksi	7	3,699,036.70	6.65	4,600,359.93	5.67	281,744	8.80
Perdagangan-Hotel-Restoran	8	13,269,108.75	23.89	16,328,313.43	20.11	367,593	12.42
Transportasi-Komunikasi	9	1,908,048.18	3.43	4,712,818.93	5.80	175,696	5.49
Jas a-jas a (Bank-Keu, Sewa, Js. Perush, Pemerintah, Sosial)	10	10,622,898.77	19.09	12,328,597.12	15.18	293,986	9.18
Jumlah		55,637,604.36	100.00	81,195,466.60	100.00	3,201,036	100.00

Tenaga kerja yang diserap oleh aktivitas ekonomi Madura tahun 2000 yakni masih sekitar 1,5 juta orang kemudian meningkat lebih dari dua kali lipat menjadi sebesar 3,2 juta orang. Peranan sektor tradisional menurun dalam penyerapan tenaga kerja yaitu dari 72,54% pada tahun 2000 berubah menjadi sebesar 47,11% pada tahun

2013. Lebih jauh bahwa peranan sektor modern menjadi sekitar 25% atau meningkat hampir tiga kali lipat pada tahun 2013 dibanding tahun 2000 yang hanya mampu menyerap 8,86%. Semakin jelas bahwa peranan sektor tradisional mulai digantikan oleh sektor modern sebagai tumpuan hidup rakyat Madura.

Dampak aktivitas proyek ini dianalisis per tahun sejak 2010-2013 untuk tahap pra-proyek dan sejak 2014-2017 untuk tahap pelaksanaan pembangunan proyek, di mana tahun 2018 sudah tidak ada aktivitas proyek yang dapat diserap oleh ekonomi lokal Madura. Walaupun analisis ini memakai simulasi berdasarkan model I-O dinamis, tetapi sebagai perbandingan juga digunakan simulasi model I-O statis. Jadi, secara keseluruhan pada tahap pra-proyek selama tahun 2010-2013 dengan aktivitas ganti-rugi lahan dan perijinan yaitu diperkirakan sebesar Rp 114,1 milyar yang berdampak secara tidak langsung terhadap ekonomi Madura, di mana dampak itu ditransmisikan melalui konsumsi rumah tangga dan pemerintah

Selanjutnya dampak terhadap ekonomi Madura sebagai akibat aktivitas pra-proyek adalah peningkatan keluaran, PDRB, dan penyerapan tenaga kerja yang masing-masing secara kumulatif sebesar Rp 146,3 milyar, sejumlah Rp 79,2 milyar, dan sebesar 7.428 orang. Lebih rinci, jika dilihat sektoral secara kumulatif selama tahun 2010-2013 dampak ekonomi tidak langsung dari aktivitas ganti-rugi lahan dan perijinan yang ditransmisikan melalui konsumsi rumah tangga dan pemerintah kabupaten, maka tambahan konsumsi terbesar adalah sektor 8 (perdagangan), kemudian diikuti oleh sektor 10 (jasa), sektor 3 (industri padat karya), dan sektor 4 (industri padat modal). Dengan demikian secara keseluruhan aktivitas proyek pada tahap pelaksanaan pembangunan selama periode 2014-2017 yaitu diperkirakan sekitar Rp 231.37 milyar yang berdampak secara langsung terhadap ekonomi Madura.

Tabel 5. Aktivitas Pelaksanaan Pembangunan Proyek PLTN-Desalinasi dan Transaksi I-O Madura Tahun 2014-2017

Tahun	Sektor	Kode I-O	Investasi
			Kode I-O (303) (Rp - Juta)
2014	Bangunan-Konstruksi	7	86,714.70
2015	Bangunan-Konstruksi	7	71,069.89
2016	Bangunan-Konstruksi	7	10,533.24
2017	Bangunan-Konstruksi	7	63,061.44
Jumlah			231,379.27

Kemudian dampak tersebut terhadap ekonomi Madura sebagai akibat dari aktivitas pelaksanaan pembangunan proyek adalah peningkatan keluaran, PDRB, dan penyerapan tenaga kerja yang masing-masing secara kumulatif sebesar Rp 335,43 milyar, sekitar Rp159,29 milyar, dan sebesar 14.941 orang. Lebih lanjut, rincian dampak langsung sektoral secara kumulatif selama tahun 2014-2017 terhadap ekonomi di

Madura dari aktivitas tahap pelaksanaan pembangunan ditransmisikan melalui penambahan produksi sektor bangunan-konstruksi yang digunakan untuk investasi.

Perlu diingat bahwa proyek PLTN ini terdiri dari 2 unit pembangkit dengan kapasitas masing-masing sebesar 100 MWe. Pembangunan kedua pembangkit juga tidak bersamaan dengan selisih waktu sekitar setahun (dari aktivitas cor pondasi). Oleh karena itu untuk PLTN unit pertama diperkirakan telah selesai dibangun dan telah siap beroperasi pada triwulan kedua tahun 2018. Dengan kata lain selama sembilan bulan pada tahun 2018 untuk PLTN unit pertama dengan kapasitas 100 MWe telah beroperasi secara penuh, termasuk dua unit desalinasi (2x10.000m³) 3 sedangkan untuk PLTN unit kedua diperkirakan beroperasi pada awal tahun 2019.

Berdasarkan jadwal pembangunan proyek PLTN-desalinasi tersebut, maka aktivitas proyek pada tahun 2018 ini setelah tahap komisioning adalah operasi awal unit pertama PLTN dan unit desalinasi (penjernihan air laut). Dengan demikian secara ringkas dapat diperkirakan nilai keluaran proyek ini (satu unit PLTN dan desalinasi) tahun 2018 (selama sembilan bulan) menunjukkan bahwa tambahan keluaran baru dari operasi proyek pada tahap awal tahun 2018 sekitar Rp 337,63 milyar (*skenario pertama*) dan sekitar Rp 398,08 milyar (*skenario kedua*). Langkah selanjutnya adalah menganalisis dampak penambahan keluaran/ produksi (*output*) baru dari operasional proyek tersebut terhadap ekonomi Madura tahun 2018 melalui simulasi model I-O dinamis yang didasarkan pada Tabel I-O Madura tahun 2013. Sebagai catatan bahwa simulasi dinamis ini dibagi dalam dua skenario untuk menangkap perbedaan harga. Selain itu diasumsikan bahwa produksi listrik dan air dikurangi untuk pemakaian sendiri masing-masing sebesar 6,5% dan 2,5%.

Tabel 6. Perkiraan Produksi (Keluaran) dari Operasional Proyek dengan Satu Unit PLTN dan Desalinasi pada Tahun 2018

Keterangan	Produksi	Satuan	Harga		1 Tahun Nilai (Rp Juta)	9 Bulan Nilai (Rp Juta)
			US\$/ Satuan	Rp/Satuan		
Listrik (SMART 100 MWe) – Skenario-1	819,060,000	kWh	0.04060	521.47	427,115.44	320,336.58
Listrik (SMART 100 MWe) – Skenario-2	819,060,000	kWh	0.04162	534.57	437,845.92	328,384.44
Air Tawar – Skenario-1	7,117,500	m ³	0.25888	3,240.85	23,066.77	17,300.08
Air Tawar – Skenario-2	7,117,500	m ³	1.04000	13,056.75	92,931.40	69,698.55
Keterangan: 6,5% listrik & 2,5% air untuk kebutuhan sendiri	Jumlah Keluaran Proyek Skenario-1				450,182.20	337,636.65
	Jumlah Keluaran Proyek Skenario-2				530,777.33	398,082.99

Dengan penambahan keluaran baru sebesar Rp 337,63 milyar tahun 2018 dari *skenario pertama* dalam model I-O dinamis, maka dapat menghasilkan tambahan keluaran, PDRB, dan penyerapan tenaga kerja masing-masing sebesar Rp 441,68 milyar, Rp 52,48 milyar, dan 4.544 orang

Sebagai catatan, harga listrik US\$ 4.060-4.162 cent per kWh antara lain ditentukan oleh kapasitas (200 MWe) dan teknologi (SMART) PLTN tersebut. Untuk itu perlu dikaji lebih lanjut agar harga listrik dapat ditekan lebih murah lagi. Dengan

kapasitas PLTN yang lebih besar, misalkan sekitar 800-1.000 MWe, maka harga listrik dapat ditekan menjadi lebih murah dan mungkin seperti di China dengan harga jual listrik PLTN yakni sekitar US\$ 2.54-3.08 cent per kWh. Lebih jauh, dasar penentuan kapasitas PLTN sebesar 200 MWe tersebut sudah tidak relevan lagi dengan perkembangan Pulau Madura di masa mendatang dan kebutuhan listrik pada jaringan JAMALI yang terintegrasi untuk seluruh Pulau Jawa, Madura, dan Bali. Oleh karena itu luas lahan proyek PLTN-desalinasi ini sekitar 250 hektar (bisa diperluas lagi, misalkan menjadi 400-500 hektar) dapat dijadikan kompleks pusat pembangkitan listrik di Madura dengan penyusunan rencana jangka panjang (grand scenario) yang komprehensif untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Madura dan Jawa-Bali.

Selain itu pembangunan proyek PLTN-desalinasi dengan jumlah finansial yang relatif besar perlu diperhatikan tentang partisipasi industri nasional. Hasil perhitungan studi ini menunjukkan bahwa peranan industri nasional dalam proyek PLTN-desalinasi di Madura yaitu sebesar US\$ 84.16 juta atau sekitar 19,67% dari nilai proyek sebesar US\$ 440.79 juta tahun 2018. Untuk itu perlu dikaji lebih mendalam peranan industri nasional dalam proyek ini sehingga peranannya dapat ditingkatkan dalam pembangunan proyek ini melalui perencanaan komprehensif dalam skema kerjasama dengan konsorsium industri nasional. Sebagai contoh, aktivitas proyek untuk pembangunan pembangkit listrik dan desalinasi mungkin sudah bisa dikerjakan oleh industri nasional di dalam negeri. Dengan demikian benefit pembangunan proyek tersebut juga dapat dinikmati oleh sektor industri nasional.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari uraian di muka yang berisikan tentang pembahasan dan analisis, maka hasil akhir studi ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Aktivitas pembangunan PLTN-desalinasi di Madura pada tahap pra-proyek (2010-2013) hanya berdampak secara tidak langsung terhadap ekonomi Madura dari aktivitas pembelian/ ganti-rugi lahan dan sebagian pembayaran perijinan.
2. Secara keseluruhan aktivitas proyek pada tahap pelaksanaan pembangunan proyek (2014-2017) diperkirakan sekitar Rp 231,37 milyar (US\$ 19,36 juta) yang berdampak secara langsung terhadap ekonomi Madura. Dampak tersebut secara kumulatif terhadap ekonomi Madura sebagai akibat dari aktivitas pelaksanaan pembangunan proyek adalah peningkatan keluaran, PDRB, dan penyerapan tenaga kerja yang masing-masing sebesar Rp 335,43 milyar, sekitar Rp159,29 milyar, dan sebesar 14.941 orang.
3. Hasil perhitungan yang disimulasikan dalam model I-O dinamis dengan dua skenario. Tambahan keluaran baru dari operasi proyek pada tahap awal tahun 2018 yaitu sekitar Rp 337,63 milyar (skenario pertama) dan sekitar Rp 398,08

milyar (skenario kedua). Penambahan keluaran baru dari skenario pertama menghasilkan tambahan keluaran, PDRB, dan penyerapan tenaga kerja masing-masing sebesar Rp 441,68 milyar, Rp 52,48 milyar, dan 4.544 orang. Hasil skenario kedua meningkatkan keluaran ekonomi Madura sebesar Rp 519,71 milyar pada tahun 2018. Selain itu juga berdampak pada peningkatan PDRB dan tenaga kerja yaitu masing-masing sebesar Rp 58,78 milyar dan 5.313 orang.

4. Kebutuhan investasi pembangunan dua unit PLTN SMART-Desalinasi yaitu US\$ 357 juta tahun 2002 (termasuk 4 unit desalinasi, tetapi tidak termasuk tanah dan bahan bakar) sehingga tahun 2009 diperkirakan menjadi US\$ 397 juta sedangkan tahun 2013 menjadi US\$ 421 juta kemudian tahun 2014 senilai US\$ 427 juta.
5. Tahap pelaksanaan pembangunan proyek PLTN, kebutuhan jumlah tenagakerja bervariasi, baik periode, jenis, dan kelompok aktivitas. Pada tahun pertama (2014) seluruh kebutuhan tenaga kerja yaitu 293 orang kemudian menjadi 438 orang tahun 2015 dan 401 orang pada tahun 2016. Tahun berikutnya menurun menjadi 363 orang dan pada tahun terakhir pembangunan yaitu saat beban pekerjaan sudah berkurang, kebutuhan tenaga kerja sekitar 285 orang.
6. Energi nuklir mempunyai beberapa kehandalan dan nilai keekonomian yang lebih baik daripada sumber energi lainnya, antara lain yaitu harga bahan bakar nuklir (uranium) lebih stabil, efisien, dan murah biaya produksi. Selain itu, keunggulan pada aspek dampak lingkungan, yaitu nuclear value chain management (perbaikan kinerja, stabilitas harga jangka panjang, dukungan sistem transmisi, site value, nilai udara yang bersih, dan sistem pengelolaan). Beberapa hal yang terkait dengan keunggulan nilai ekonomis PLTN yaitu: peningkatan faktor kapasitas, peningkatan keluaran listrik, penurunan biaya-biaya produksi (antara lain karena stabilitas harga bahan bakar), NPV (net present value) yang tinggi, harga saham yang tinggi, dan future value potensial dari pemenuhan standar lingkungan.
7. Analisis model I-O statis digunakan untuk membandingkan potret ekonomi Madura tahun 2000 dan 2013 (dimensi 10x10). Nilai tambah bruto ekonomi Madura berasal dari sektor tradisional (pertanian dan pertambangan) pada tahun 2000 sekitar 53,39% dan tahun 2013 sebesar 42,22%. Penurunan sektor itu diimbangi oleh peningkatan sektor modern (industri, listrik-air bersih, dan konstruksi) dalam pembentukan PDRB dari 5,15% tahun 2000 menjadi sebesar 11,57% (meningkat lebih dari dua kali lipat). Nilai tambah bruto yang dihasilkan oleh ekonomi Madura tahun 2000 dan 2013 yaitu sebesar Rp 8,607 triliun dan Rp 55,6 triliun (meningkat hampir 6,5 kali lipat dan naik 2,26 kali

dalam harga konstan 1993). Tenaga kerja yang diserap oleh aktivitas ekonomi Madura tahun 2000 dan 2013 yakni sekitar 1,5 juta orang dan 3,2 juta orang (meningkat lebih dari dua kali lipat).

8. Pada tahun 2002, pasokan total air bersih untuk Madura sebesar 15,25 juta m³ / tahun (pasokan PDAM dan air tanah masing-masing 13,89 juta m³ dan 1,35 juta m³). Sedangkan permintaan potensial air bersih sebesar 133,46 juta m³ sehingga terjadi defisit sebesar 118,21 m (88,57%). Oleh karena itu diperlukan alternatif sumber air bersih. Jika desalinasi telah beroperasi, maka air bersih yang dihasilkan sebanyak 40.000.000 liter/ hari sehingga menambah pasokan air bersih sekitar 1,5 kali lipat dari pasokan saat ini.

Dari kesimpulan di atas, maka studi ini merekomendasikan beberapa hal berikut ini :

1. Harga listrik sekitar US\$ 4.060 - 4.162 cent per kWh yang ditentukan oleh kapasitas PLTN sebesar 200 MWe tersebut perlu dikaji lebih lanjut. Dengan kapasitas PLTN yang lebih besar yaitu sekitar 800 MWe, maka harga listrik diharapkan dapat ditekan menjadi lebih murah dan mungkin seperti di China dengan harga jual listrik PLTN sekitar US\$ 2.54-3.08 cent per kWh. Dasar penentuan kapasitas PLTN sebesar 200 MWe tersebut sudah tidak relevan lagi dengan perkembangan ekonomi Madura mendatang dan kebutuhan listrik pada jaringan JAMALI yang terintegrasi untuk seluruh Pulau Jawa, Madura, dan Bali. Demikian pula untuk harga air bersih dari desalinasi yang ditetapkan oleh proyek ini relatif mahal yakni sekitar empat kali lipat dari harga air PDAM. Mungkin perlu dipertimbangkan kembali penetapan harga tersebut agar terjangkau oleh masyarakat, misalkan dengan harga sekitar US\$ 0.40 - 0.50 per m³. Harga yang terlalu mahal, baik untuk listrik maupun air bersih akan mengakibatkan beban bagi masyarakat semakin bertambah, di mana hal itu seharusnya tidak terjadi. Tentu saja kondisi ini akan menurunkan kesejahteraan masyarakat.
2. Lahan yang dibutuhkan untuk kompleks proyek PLTN pada umumnya cukup luas, paling tidak sekitar 200-300 ha sedangkan untuk proyek ini dibutuhkan lahan seluas 250 ha (dapat diperluas menjadi 400-500 ha) sedangkan luas lahan untuk unit pembangkit dan desalinasi yaitu sekitar 50 ha. Ketersediaan lahan seluas itu tentunya tidak hanya diperuntukkan sebuah proyek PLTN ini saja yang berkapasitas kecil, yakni 200 Mwe, termasuk pula perlu diperhatikan emergency planning zone (EPZ). Untuk itu perlu dikaji lebih mendalam bahwa luasan kompleks proyek PLTN-desalinasi ini sehingga di masa mendatang dapat dijadikan sebagai pusat pembangkitan listrik dalam jangka panjang (*grand scenario*) di Madura. Dengan demikian perencanaan penyediaan

energi listrik dalam jangka panjang telah diperhitungkan dengan cermat dan terintegrasi menjadi kompleks pembangkitan listrik pada lahan tersebut.

3. Perlu dikaji lebih mendalam peranan industri nasional dalam proyek ini sehingga peranannya dapat ditingkatkan dalam pembangunan proyek ini melalui perencanaan komprehensif dalam skema kerjasama dengan konsorsium industri nasional. Dengan demikian partisipasi industri nasional dalam proyek PLTN-desalinasi di Madura tidak hanya sekitar US\$ 84.16 juta atau sekitar 19,67% dari nilai proyek sebesar US\$ 440.79 juta tahun 2018 sehingga benefit pembangunan proyek tersebut juga dapat dinikmati oleh sektor industri nasional.

DAFTAR PUSTAKA

1. Achmadi, Tri, Bambang Eko Afiatno, dan Iwan Jaya Azis, 1995, *Trade and Transport: Intermoda Transport Development for Promoting Export from Java*, PAU-Ek-UI, FE-Unair, dan Lemlit ITS, 1995, Jakarta.
2. Afiatno, Bambang Eko, 1989, *Model SNSE Indonesia: Pola Distribusi dan Analisis Makro*, PAU-Ek-UI, Jakarta dan Fakultas Ekonomi Universitas Airlangga, Surabaya.
3. Adiwardojo, 1992a, "Prospek dan Potensi Energi Nuklir dalam Pembangkitan Energi Listrik", Makalah Disampaikan dalam *Seminar Energi Nasional IV*, Juli, Jakarta.
4. _____, 1992b, "Pengembangan Sumberdaya Manusia untuk Program Energi Nuklir, *Lokakarya Nuclear Reactor's Construction Problems*, Pusat Pengkajian Energi Nuklir, BATAN, Jakarta, 26-28 Agustus.
5. Azis, Iwan Jaya, 1994, *Ilmu Ekonomi Regional dan Beberapa Aplikasinya di Indonesia*, Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia, Jakarta.
6. _____ dan Ari Kuncoro, 2000, "From a Standard Approach to an Economywide Model of Total Factor Productivity", makalah disampaikan dalam *Kuala Lumpur Conference on Productivity*, Kuala Lumpur, September. Badan Pusat Statistik (BPS), 2000a, *Kerangka Teori dan Analisis Tabel Input-Output*, BPS, Jakarta.
7. _____, 2000b, *Teknik Penyusunan Tabel Input-Output*, Badan Pusat Statistik, Jakarta.
8. BATAN, IAEA, dan KAERI, 2004, *Preliminary Economic Feasibility Study of Nuclear Desalination in Madura Island Indonesia*, BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional), IAEA (International Atomic Energy Agency), dan KAERI (Korea Atomic Energy Reserch Institute), Jakarta. *Bisnis Indonesia*, 2003, *Indikator Potret Infrastruktur Indonesia Kini*, Edisi 5 Nopember 2003, Jakarta.
9. Djokolelono, Mursid, 1992, "Infrastruktur Industri", *Lokakarya Nuclear Reactor's Construction Problems*, Pusat Pengkajian Energi Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Jakarta, 26-28 Agustus.
10. _____, A. Sarwiyana S., dan Sri Hidayati, 2002. *Penilaian Ekonomi Pabrik Listrik dan Air Bersih bagi Madura*. Riset Unggulan Terpadu (RUT) Tahun Anggaran 2001-2002, Pusat Pengembangan Energi Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Kantor Menteri Negera Riset dan Teknologi, dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Jakarta.