

Tingkat Ekstraksi Optimal Minyak Bumi Indonesia: Aplikasi Model Optimasi Dinamik

Alin Halimatussadiah

Laboratorium Ilmu Ekonomi dan Studi Pembangunan FEUI

Budy P. Resosudarmo

Australian National University

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara dengan sumber daya mineral yang masih tergolong besar, diantaranya minyak. Minyak menjadi penting dalam perekonomian Indonesia karena sektor ini memberi kontribusi yang masih cukup signifikan baik terhadap PDB, ekspor maupun pendapatan pemerintah. Selain itu, struktur energi primer Indonesia juga masih didominasi oleh minyak bumi.

Sebagai sumber daya yang dapat habis dan tidak terbarukan, eksploitasi minyak bumi saat ini mengandung opportunity cost di mana akan mengurangi ketersediaan minyak bumi untuk generasi mendatang. Sehingga, pertanyaan yang dapat muncul kemudian adalah: Apakah minyak bumi dieksploitasi terlalu cepat atau terlalu lambat?

Dengan menggunakan optimasi dinamik akan dilakukan simulasi yang menghasilkan alur ekstraksi (extraction path) yang optimal yang memaksimalkan nilai sekarang dari keuntungan netto akan ekstraksi minyak bumi. Hasil ini akan dibandingkan dengan tingkat produksi yang menggunakan perilaku 'business as usual'.

Kesimpulan yang didapat dari simulasi adalah dalam skenario optimal, cadangan akan lebih cepat habis dibandingkan skenario 'biasa' (business as usual), walaupun profit yang didapat lebih tinggi. Beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dalam membandingkan hasil ini kemudian adalah penerimaan pemerintah, cadangan devisa dan kapasitas terpasang dari pengeboran minyak.

Kata Kunci : optimasi dinamik, minyak bumi

Klasifikasi JEL: Q32, C61

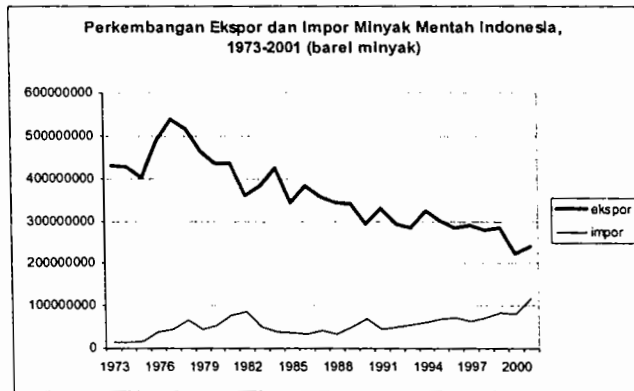
I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang mempunyai sumber daya alam yang melimpah, termasuk sumber daya mineralnya (Barnes: 1995). Untuk banyak sumber daya alam tak terbarukan (untuk selanjutnya disebut mineral), Indonesia menjadi pengekspor netto. Khususnya minyak bumi, Indonesia mulai mengekspor sejak tahun 1950¹. Sampai saat ini ekspor minyak bumi masih lebih tinggi dari impornya, walaupun sudah terlihat

¹ Ekspor dilakukan oleh Shell dan Stanvac. Sumber: Departemen Pertambangan dan Energi RI. *55 Years of Mining and Energy Development*. 2001.

kecenderungan bahwa Indonesia akan menjadi importir netto minyak dalam waktu yang relatif dekat (lihat Gambar 1).

Gambar 1.



Sumber: ADB Book dan Ditjen Migas, DESDM

Peranan minyak bagi perekonomian Indonesia cukup penting. Menurut data tahun 2000, sektor minyak dan gas bumi menguasai sekitar 8.5% dari PDB (Produk Domestik Bruto) Indonesia; menyumbang sekitar 23.1% terhadap total ekspor; dan 41.6% dari total pendapatan negara².

Peranan minyak bagi perekonomian Indonesia juga bisa dilihat dari struktur konsumsi energi primer³. Sampai tahun 2000 masih tercatat bahwa proporsi minyak sebesar 58.7%⁴, yang angka ini telah mengalami penurunan dibanding tahun 1973 di mana konsumsi energi yang berasal dari minyak mencapai 93% dari keseluruhan sumber energi primer⁵ (Gambar 2). Walaupun diprediksikan sampai tahun 2020 peranan minyak dalam konsumsi energi domestik terus menurun, tetap saja energi yang berasal dari minyak mentah masih tetap dominan (Resosudarmo & Tanujaya: 2002).

Seperti pada produk mineral pada umumnya, minyak bumi mempunyai karakteristik yang berbeda dengan komoditi yang lain, yaitu ketersediaannya terbatas dan akan habis (*exhaustible resource*) serta tidak dapat diperbaharui lagi (*non-renewable resource*). Mengingat karakteristik ini maka keputusan tentang berapa jumlah minyak bumi yang dieksploitasi tiap waktu sangat penting. Besarnya eksploitasi saat ini akan mengurangi ketersediaan minyak bumi bagi generasi mendatang. Hal ini ditambah dengan biaya pengambilan yang merupakan *opportunity cost* dari pengambilan minyak bumi saat ini. *Opportunity cost* adalah bagian penting yang dijadikan pertimbangan dalam menentukan alokasi minyak bumi antar waktu (antar generasi). Sehingga, pertanyaan lebih lanjut dari

² Sumber: - Petroleum Report Indonesia 2002 (US Embassy Jakarta) dari Badan Pusat Statistik
- Indonesia Energy Outlook & Statistics 2002 (Center for Energy Study, University of Indonesia).

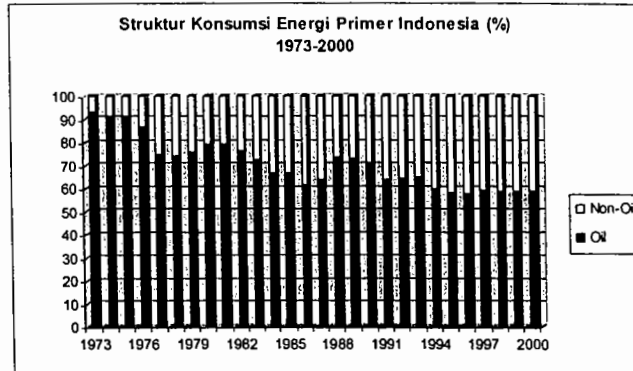
³ Energi primer merupakan energi yang sumbernya langsung diekstraksi dari alam dan siap diolah menjadi energi siap pakai (energi sekunder). Contoh energi primer adalah minyak mentah, gas alam, batubara dan sumber daya alam yang dapat diperbaharui. Sedangkan energi sekunder adalah energi yang siap dipakai oleh konsumen seperti produk BBM (minyak tanah, avtur, premium), LPG, dll. (Resosudarmo and Tanujaya: 2002).

⁴ Sumber: Indonesia Energy Outlook & Statistics, Center for Energy Study of Indonesia. 2000.

⁵ Sumber: ADB Book, Asian Development Bank.

kasus ini yang muncul adalah: Apakah minyak bumi dieksploitasi terlalu cepat atau terlalu lambat? (Fisher: 1981).

Gambar 2.



Sumber: ADB Book (1973-1990) –Asian Development Bank, Indonesia
Energy Outlook & Statistics (1991-2000) – Center for Energy Study University of Indonesia.

Penelitian ini akan mencoba menelaah lebih jauh penentuan tingkat ekstraksi optimal antar waktu, dan berapa besar keuntungan yang bisa diraih dari tingkat ekstraksi optimal ini dibandingkan dengan tingkat ekstraksi dengan dasar *business as usual*. Yang dimaksud dengan optimal di sini adalah tingkat ekstraksi dari waktu ke waktu yang memaksimalkan nilai sekarang dari total keuntungan bersih dari kegiatan ekstraksi minyak bumi. Sedangkan tingkat ekstraksi *business as usual* adalah tingkat ekstraksi yang selama ini dilakukan di Indonesia, yang juga mencerminkan perilaku ekstraksi minyak bumi yang selama ini terjadi. Dari model yang akan dibangun juga dapat diketahui berapa lama lagi Indonesia beralih dari eksportir netto menjadi importir netto minyak bumi.

Karena ruang lingkup pembahasan mempunyai cakupan negara Indonesia, maka data yang digunakan adalah data agregat Indonesia. Data mencakup tingkat produksi domestik minyak, cadangan minyak (terbukti dan potensial), biaya produksi dan eksplorasi minyak, tingkat konsumsi domestik minyak dan GDP (*gross domestic product*). Data yang digunakan adalah data tahunan.

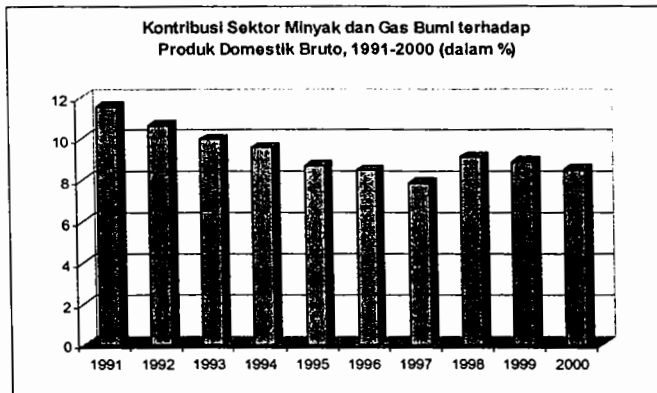
II. PERANAN SEKTOR MINYAK BUMI bagi PEREKONOMIAN INDONESIA

Minyak bumi mempunyai peran yang penting bagi perekonomian Indonesia. Kontribusi dari sektor migas (minyak dan gas bumi) terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) pada tahun 2000 adalah 8.5%. Dari Gambar 3 terlihat bahwa terdapat kecenderungan yang menurun dari kontribusi migas ini yang disebabkan salah satunya karena pertumbuhan sektor lain yang lebih pesat dari sektor migas.

Selama awal 1970-an, sebagian besar porsi anggaran pembangunan datang dari bantuan asing (Barnes, 1995:18). Pada tahun 1969 pada awal Pelita I, 80% pengeluaran pembangunan dibiayai oleh bantuan luar negeri. Pada tahun 1976, proporsi ini menurun menjadi 35%. Penurunan ini terjadi seiring dengan meningkatnya penerimaan pemerintah dari sektor migas di mana sejak pertengahan tahun 70-an porsinya mencapai di atas 50% dari penerimaan domestik (Gambar 4). Kemajuan ekonomi menjadi tergantung pada kesuksesan Indonesia dalam membangun sumber daya migasnya juga kondisi pasar minyak internasional (dalam hal ini untuk masalah harga). Pengenalan dari Kontrak Karya

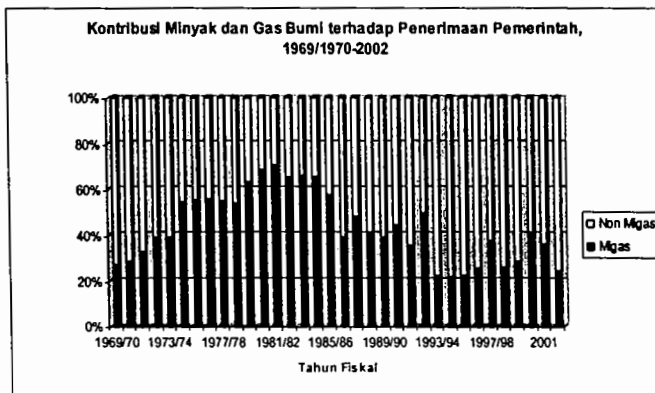
dan kemudian PSC (*Production-Sharing Contract*) pada tahun 1960-an menjadi basis bagi ekspansi dari produksi minyak dan gas yang merupakan/menjadi hal yang vital bagi pertumbuhan ekonomi Indonesia. Walaupun begitu, industri hidrokarbon di Indonesia saat ini tidak sepenting pada saat *boom* minyak pada tahun 1970-an dan hal ini diikuti dengan kebijakan diversifikasi ekonomi.

Gambar 3.



Sumber: Badan Pusat Statistik, berbagai terbitan.

Gambar 4.



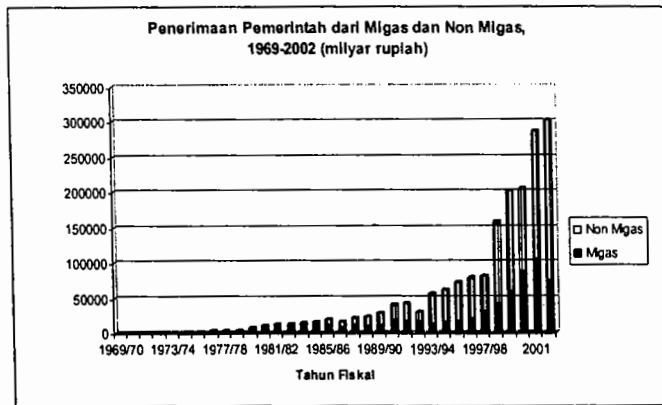
Sumber: Badan Pusat Statistik

Pendapatan dari hidrokarbon menjadi semakin penting pada tahun 1960-an tetapi menjadi sangat penting antara tahun 1973 sampai dengan 1981. Pada tahun 1970, nilai dari ekspor minyak menjadi dua kali lipatnya dari dekade sebelumnya dan *share* dari ekspor minyak mencapai 40 persen (Gambar 6). Dengan adanya peningkatan harga minyak internasional pada 1973-1974, *share* ekspor minyak mencapai hampir 50%. Kemudian, Indonesia mendapatkan keuntungan yang tak terduga dari boom harga minyak internasional.

Pada tahun 1975, ekspor migas mencapai lebih dari 70 persen dari total ekspor dan mencapai nilai tertinggi pada tahun 1981 yang mencapai 80% (Gambar 6). Peningkatan yang pesat akan pendapatan dari minyak setelah 1973-74 dan 1979 sehubungan dengan pengaruh OPEC untuk meningkatkan harga. Terdapat peningkatan dalam volume ekspor

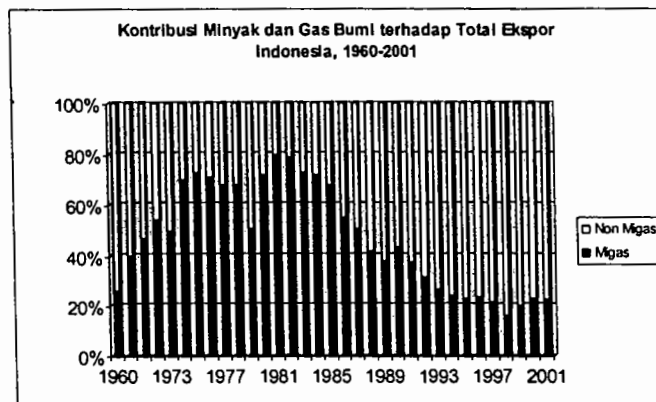
sampai dengan 1979 yang juga membantu, dan kemudian penurunan dalam volume yang di-offset oleh kenaikan harga pada 1979-1980.

Gambar 5.



Sumber: Badan Pusat Statistik

Gambar 6.



Sumber: Pertoleum Report Indonesia 2002, US Embassy Jakarta (B PS)

Gambar 7.



Sumber: Pertoleum Report Indonesia 2002, US Embassy Jakarta (BPS)

Periode dari akhir tahun 1960-an sampai dengan 1981 merupakan periode yang menakjubkan bagi pertumbuhan ekonomi Indonesia. Itu adalah era rehabilitasi ekonomi dan pertumbuhan menjadi memungkinkan dengan minyak yang dapat menghasilkan devisa, walaupun bantuan luar negeri masih saja penting. Rata-rata pertumbuhan ekonomi Indonesia mengalami percepatan menjadi lebih dari 7% per tahun dan menurun di bawah 6% hanya satu tahun antara periode 14 tahun (1967-1981). Pentingnya sektor migas bagi perekonomian mencapai puncaknya pada tahun 1981. Pada tahun tersebut, 80% dari pendapatan ekspor dan 70% pendapatan fiskal domestik didapat dari sektor minyak dan gas (Gambar 4 dan Gambar 6).

Melemahnya pasar minyak internasional sejak akhir 1981 menjadi hambatan tersendiri bagi perekonomian Indonesia. Baik penerimaan ekspor maupun pendapatan fiskal menurun seiring dengan penurunan dan stagnasi harga minyak – dimana yang terakhir disebabkan lebih karena peningkatan dalam konsumsi domestik dan penurunan produksi. Pada tahun 1982, GDP tumbuh hanya sebesar 2.2% setelah mengalami pertumbuhan sebesar 7.9% pada tahun sebelumnya. Penurunan yang substansial pada pertumbuhan ekonomi di tahun 1982 secara langsung disebabkan karena penurunan yang tajam dalam produksi minyak dari 1.6 juta barel per hari (mb/d) menjadi 1.3 mb/d. Ini adalah hasil dari kuota yang ditetapkan OPEC walaupun kapasitas produksi memang menurun pula. Kinerja yang buruk di sektor pertanian dan manufaktur dan *terms of trade* yang tidak mendukung juga memberi kontribusi.

Turunnya produksi minyak menyebabkan turunnya penerimaan pemerintah dan menekan kebijakan dari penggunaan *production-sharing* untuk minyak untuk penjualan produk minyak yang disubsidi ke pasar domestik. Sebagai hasilnya subsidi dipotong pada tahun 1982-83 dan harga bahan bakar domestik meningkat sebesar 60 sampai 70%.

Ekspor minyak sebenarnya sudah mulai menurun pada 1978, tetapi dampaknya menjadi lebih baik selama beberapa tahun dengan adanya harga minyak yang tinggi. Penurunan harga minyak internasional yang muncul selama tahun 1986 muncul seiring dengan produksi minyak yang juga menurun kembali menjadi hampir 400 ribu barel per hari dibawah tingkat puncak dari paruh kedua tahun 70-an. Syarat yang ditawarkan kepada perusahaan minyak asing di bawah PSC tidak cukup untuk menarik investasi yang cukup dalam mengembangkan/membangun ladang minyak baru dan menyediakan teknologi baru. Kemudian, perubahan dilakukan sehubungan dengan syarat-syarat dalam kontrak, pada 1988, 1989 dan 1992, dan beberapa formula kontrak baru diperkenalkan. Situasi ini diperburuk dengan adanya penurunan dalam nilai dolar yang muncul setelah 1985. Pada 1986, nilai dari ekspor migas turun menjadi sebesar US\$8 trilyun jika dibandingkan dengan US\$ 18 trilyun pada tahun 1981 dan setelah itu berhenti antara US\$ 8 sampai US\$ 9 trilyun sampai akhir tahun 1980-an (Gambar 7).

Harga minyak yang tinggi di tahun 1970-an membawa pada boom dalam proyek-proyek pembangunan, yang diantaranya tidak cocok dan tidak kompetitif. Setelah pasar minyak dunia melemah, penyesuaian yang substansial dalam kebijakan ekonomi dilakukan. Restrukturisasi ekonomi dimulai pada pertengahan 1980-an dengan kebijakan yang jauh dari ketergantungan terhadap ekspor migas.

Saat ini (2002) kontribusi sektor migas terhadap penerimaan domestik berada di bawah 30%, jauh bila dibandingkan 66% pada tahun fiskal 1984/1985 (Gambar 4). Tetapi bagaimanapun, industri hidrokarbon masih saja merupakan satu-satunya kontributor terbesar bagi penerimaan pemerintah. Sedangkan dilihat dari sisi ekspor, pendapatan devisa dari minyak dan gas sekarang (2002) berada di sekitar bilangan US\$ 12 trilyun per

tahun (Gambar 7), suatu nilai yang cukup signifikan bila dibandingkan dengan paruh kedua 1980-an.

III. MODEL DAN METODOLOGI

Bagian ini akan menjelaskan rangkuman metodologi yang digunakan dalam penelitian ini. Pertama, model ekstraksi optimal, yaitu model yang digunakan untuk mengetahui tingkat ekstraksi optimal (y^*), tingkat keuntungan optimal (maksimum) (π^*) dan pada tahun berapa cadangan akan habis (T^*).

Kedua, model ekstraksi *business as usual*, yaitu model yang mencerminkan perilaku produksi di Indonesia selama ini. Dari model ini akan didapat tingkat ekstraksi *business as usual* (y'), tingkat keuntungan *business as usual* (π') dan pada tahun berapa cadangan akan habis di bawah skenario *business as usual* (T').

Selain itu dari kedua model ini juga dapat diketahui kapan Indonesia beralih dari eksportir netto menjadi importir netto, di mana pada skenario optimal dilambangkan dengan T_{opt} , dan pada skenario *business as usual* dilambangkan dengan T_{bus} . Secara ringkas metodologi kedua model ini dirangkum dalam Tabel 1.

III.1. Model Optimal

Bagian ini akan menjelaskan metodologi dasar yang digunakan dalam mendapatkan tingkat ekstraksi optimal minyak bumi (model dasar optimal). Model dasar optimal ini merupakan model sederhana permasalahan optimisasi dinamis yang dibangun dengan tujuan untuk mengetahui tingkat ekstraksi optimal minyak bumi (y^*), tingkat keuntungan optimal (maksimum) dari kegiatan ekstraksi minyak bumi (π^*) dan pada tahun berapa cadangan minyak bumi akan habis (T^*). Selain itu dari model ini juga dapat diketahui kapan Indonesia beralih dari eksportir netto menjadi importir netto, yang pada skenario optimal dilambangkan dengan T_{opt} .

III.1.a. Penentuan Tingkat Ekstraksi Optimal

Permasalahan sederhana optimasi dinamik untuk kasus minyak bumi Indonesia ini dapat dipecahkan oleh metode matematik yang dikenal dengan nama *optimal control* (Fisher, 1981:11). Karena ini merupakan permasalahan maksimisasi dengan kendala, maka permasalahan diset dalam suatu ekspresi Langrangian. (Fisher, 1981:15). Persamaan Langrangian kemudian digunakan untuk memecahkan persoalan optimasi dinamik dalam bentuk diskrit (Conrad, 1987; Khanna, 2001). Model yang akan dibangun berusaha memaksimalkan nilai sekarang dari total keuntungan bersih yang diterima di masa yang akan datang. Manfaat bersih di sini didefinisikan sebagai pendapatan dari kegiatan eksplorasi untuk masyarakat dikurangi biaya dari kegiatan ini bagi masyarakat.

Berikut adalah masalah perusahaan dalam optimasi ekstraksi dinamik dengan asumsi pasar kompetitif. Masalah optimasi ekstraksi minyak bumi dapat dijabarkan dalam model matematis berikut (Conrad: 1987, Khanna: 2001).

$$\max \sum_0^T \rho' [py_t - c(y_t, X_t)] dt \quad (1)$$

$$\{y_t\}$$

$$\text{s.t.} \quad \begin{aligned} X_{t+1} &= X_t - y_t \\ X_0 &= \bar{X}_0 \\ X_T &= \bar{X}_T \end{aligned} \quad (2)$$

di mana:

p = harga minyak bumi

y_t = tingkat ekstraksi minyak bumi pada periode t

X_0 = jumlah cadangan pada periode $t=0$

X_t = jumlah cadangan pada periode t

X_T = jumlah cadangan pada periode T

T = waktu di mana cadangan minyak bumi habis

ρ = faktor diskonto, yang sama dengan $\frac{1}{(1+\delta)}$, di mana δ merupakan tingkat diskonto

$C = f(y_t, X_t)$ = fungsi biaya

Dalam model sederhana ini diasumsikan tidak ditemukan cadangan baru. Jika ditemukan cadangan baru, maka $X(t+1) = X(t) - Y(t) + I(t)$ dimana $I(t)$ adalah temuan cadangan baru.

X_t dan y_t nilainya harus positif atau sama dengan 0 mengingat keduanya notasi untuk cadangan dan tingkat produksi yang keduanya tidak mungkin bernilai negatif.

X_t disebut dengan *state variable*, yaitu variabel yang tidak dapat dikontrol nilainya pada saat melakukan optimasi sedangkan y_t disebut dengan *control variable*, di mana nilainya dapat ditentukan untuk mendapatkan kondisi optimalnya.

Model Optimal ini dipecahkan dengan program GAMS, dengan memperhatikan asumsi-asumsi yang dibuat. Pertama, harga minyak bumi sebesar US \$24.15/barel (harga rata-rata minyak mentah Indonesia Minas 34⁰ API pada tahun 2000). Kedua, cadangan minyak bumi : 9 753 400 000 barrel (cadangan total pada tahun 2001, per 1 Januari 2001).

Tabel 1. Metodologi Model Optimal vs Model Business as Usual

Model Optimal	Keterangan	Model BUS	Keterangan
Output		Output	
y^* = level ekstraksi optimal	Didapat dengan menjalankan program optimasi dari model ekstraksi optimal, yaitu:	y^* = level ekstraksi BUS	Forecast y^* dari model Konsumsi-Produksi dengan metode VAR
T = periode di mana cadangan habis [pada saat $X = 0$]	$\max \sum_0^T \rho^t [p y_t - c(y_t, X_t)] dt$ $\{y_t\}$ $s.t$ $X_{t+1} = X_t - y_t$ $X_0 = \bar{X}_0$ $X_T = \bar{X}_T$ Model pendukung: Estimasi fungsi biaya $C = f(y_t, X_t)$	T = periode di mana cadangan habis [pada saat $X = 0$]	$C_t = f(C_{t-1}, C_{t-2}, \dots, C_{1,p}, Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{1,p}, GDP_t)$ $Y_t = f(C_{t-1}, C_{t-2}, \dots, C_{1,p}, Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{1,p}, GDP_t)$
π^* = keuntungan optimal	Didapat dari :	π^* = keuntungan BUS	Di dapat dari:
	$\sum_0^T \rho^t [p y_t^* - c(y_t^*, X_t)]$ Forecast biaya dari fungsi $C = f(y_t^*, X_t)$ Asumsi p konstan		$\sum_0^T \rho^t [p y_t^i - c(y_t^i, X_t)]$ Forecast biaya dari fungsi $C = f(y_t^i, X_t)$ Asumsi p konstan
T_{op} = periode transisi menjadi importir netto	T^* adalah pada saat konsumsi (Ko) = produksi optimal (Y^*) Forecast konsumsi (Ko) dari model Konsumsi-Produksi	T_{bus} = periode transisi menjadi importir netto	T^* adalah pada saat konsumsi (Ko) = produksi BUS (Y^*) Forecast konsumsi (Ko) dari model Konsumsi-Produksi

Penyelesaian persoalan di atas dapat dipecahkan oleh persamaan Langrangian

$$L = \sum_{t=0}^T \rho^t \{ p y_t - c(y_t, X_t) + \rho \lambda_{t+1} [X_t - y_t - X_{t+1}] \} \quad (3)$$

kondisi perlu untuk permasalahan di atas adalah

First Order Condition (FOC):

$$\frac{\partial L}{\partial y_t} = p - \frac{\partial c}{\partial y_t} - \rho \lambda_{t+1} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial L}{\partial X_t} = \frac{\partial c}{\partial X_t} + \rho \lambda_{t+1} - \lambda_t = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial L}{\partial [\rho \lambda_{t+1}]} = X_t - y_t - X_{t+1} = 0 \quad (6)$$

Dari sini didapat *optimal path* dari ekstraksi mineral antar waktu (y^*_t). Selain itu juga akan didapat periode di mana cadangan minyak akan habis di bawah skenario Model optimal (T^*).

Dari persamaan (4) didapat

$$\lambda_{t+1} = \frac{\left[p - \frac{\partial c}{\partial y_t} \right]}{\rho}, \text{ maka} \quad (7)$$

$$\lambda_t = \frac{\left[p - \frac{\partial c}{\partial y_{t-1}} \right]}{\rho} \quad (8)$$

Interpretasi dari Langrange multiplier, λ , adalah menunjukkan sejauh mana/seberapa besar perubahan dalam nilai optimal dari fungsi tujuan karena adanya perubahan dalam *constraint*. Ini disebut juga *shadow price*. Dalam hal ini kita membicarakan tentang peningkatan dalam *benefit* yang terjadi akibat bertambahnya satu barel minyak di dalam tanah (stok cadangan), atau *benefit* yang menurun akibat menurunnya stok minyak.

Jika persamaan (7) dan (8) dimasukkan dalam persamaan (5) akan didapat sebuah persamaan intertemporal yang disebut juga *golden rule of resource extraction*:

$$p - \frac{\partial c}{\partial y_t} = \rho \left\{ \left(p - \frac{\partial c}{\partial y_{t+1}} \right) - \frac{\partial c}{\partial X_{t+1}} \right\} \quad (9)$$

Persamaan ini menginterpretasikan bahwa biaya ekstraksi marginal sama dengan selisih antara biaya ekstraksi marginal di periode berikutnya dikurangi dampak perubahan cadangan di periode berikutnya terhadap biaya yang telah didiskonto.

III.1.a.1. Estimasi Fungsi Biaya

Bentuk fungsi biaya ekstraksi secara umum berbentuk sebagai berikut:

$$C = f(y_i, X_i) \quad (10)$$

Persamaan 10 menunjukkan bahwa biaya ekstraksi dipengaruhi oleh tingkat produksi y_i dan jumlah cadangan X_i . Ada beberapa asumsi umum yang perlu dimasukkan dalam fungsi biaya ini⁶. Pertama, turunan pertama variabel total biaya (C) terhadap tingkat produksi (y) positif ($C_y > 0$). Kedua, turunan kedua variabel total biaya (C) terhadap tingkat produksi (y) positif ($C_{yy} > 0$)

[$\frac{\partial C}{\partial y_i} > 0$, dan $\frac{\partial^2 C}{\partial y_i^2} > 0$]. Terakhir, turunan pertama variabel total biaya (C) terhadap jumlah

cadangan (X) negatif ($C_x < 0$). Asumsi pertama dan kedua menggambarkan bahwa bentuk fungsi biaya terhadap tingkat produksi adalah *convex*. Asumsi ketiga menjelaskan bahwa semakin besar jumlah cadangan, maka total biaya cenderung mengecil dan sebaliknya, semakin kecil jumlah cadangan yang tersisa, maka biaya ekstraksi per unit nya semakin besar. Justifikasi dari asumsi ketiga ini mengacu pada idenya Ricardo (1817) yang menyatakan bahwa deposit *exhaustible resources* dengan kualitas yang lebih tinggi (yang berarti memerlukan biaya yang lebih rendah) akan digarap terlebih dahulu dibanding deposit dengan kualitas rendah. Hal ini sama dengan yang terjadi pada tanah pertanian (Fisher, 1981:24). Fungsi biaya ini diestimasi dengan menggunakan metode OLS (Ordinary Least Square) yang menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Cost} = 2822375512 - 0.2189398556 * \text{Reserve} + 5.828496277e-09 * \text{Prod}^2 \quad (11)$$

(1.99) (-2.56) (1.54)

R-squared = 0.477

Adjusted R-squared = 0.403

Estimasi fungsi biaya ini menggunakan data total biaya produksi (US\$), jumlah cadangan (barell) dan tingkat produksi (barell) per tahun dari mulai tahun 1985 sampai dengan tahun 2001.

Hasil estimasi koefisien-koefisien yang ada menunjukkan konsistensi dengan asumsi umum yang dibuat sebelumnya tentang fungsi biaya, yaitu pertama, turunan pertama variabel total biaya (C) terhadap tingkat produksi (y) positif ($C_y > 0$). Kedua, turunan kedua variabel total biaya (C) terhadap tingkat produksi (y) positif ($C_{yy} > 0$) [$\frac{\partial C}{\partial y_i} > 0$, dan $\frac{\partial^2 C}{\partial y_i^2} > 0$]. Terakhir, turunan pertama variabel total biaya (C) terhadap jumlah cadangan (X) negatif ($C_x < 0$).

Koefisien-koefisien tersebut dapat diterima dengan *level of significance* 15%. Perlu diperhatikan, walaupun nilai R-squared-nya tidak mencapai angka 0.5, tetapi hasil estimasi ini tetap digunakan mengingat yang dibutuhkan adalah struktur fungsinya, bukan sekedar ketepatan modelnya (yang dapat dilihat dari indikator R-squared).

⁶ John R. Livernois and Russel S. Uhler. *Extraction Cost and the Economics of Nonrenewable Resources*. *Journal of Political Economy*, Vol. 95, No. 1 (Feb., 1987), 195-203.

III.1.a.2. Penentuan Tingkat Diskonto

Tingkat diskonto dalam model ini menggunakan tingkat bunga riil (r), yaitu tingkat bunga nominal (i) setelah disesuaikan dengan inflasi (π).

$$r = i - \pi \quad (12)$$

Karena tingkat bunga nominal dan inflasi berubah-ubah, maka digunakan tingkat nominal dan inflasi tertentu untuk menentukan tingkat bunga riil. Kondisi saat ini menunjukkan, tingkat bunga bank bervariasi sekitar 10%-11% per tahun, dan inflasi bervariasi antara 7%-8%. Sehingga, kita dapat menentukan tingkat bunga riil sama antara 2-4%. Dalam studi ini, diasumsikan tingkat diskonto sebesar 2.5%, yang merefleksikan tingkat pengembalian rata-rata investasi. Dengan tingkat diskonto (δ) = 2.5% berarti faktor diskonto (ρ) = 0.975609756.

III.1.b. Penentuan Periode Cadangan Minyak Bumi Habis

Periode di mana cadangan minyak bumi ini habis dalam skenario *optimal* dilambangkan dengan T^* . Dengan menetapkan suatu nilai cadangan minyak bumi tertentu, maka dengan diperolehnya nilai produksi optimal, akan dapat diketahui kapan cadangan minyak bumi Indonesia akan habis. Permasalahan ini dapat dijelaskan lewat identitas sederhana sebagai berikut:

$$\sum_t y^*_t = X_0 \quad (13)$$

di mana

y^*_t = tingkat produksi optimal

X_0 = cadangan total minyak bumi Indonesia pada $t = 0$.

Catatan jika ditemukan cadangan baru, maka fungsi berubah menjadi

$$\sum_t y^*_t + \sum I_t = X_0 \quad (14)$$

Pada tesis akan diasumsikan bahwa cadangan minyak bumi tidak berubah (tidak ada penemuan sumber-sumber minyak baru). Karenanya nilai cadangan yang akan digunakan di sini adalah cadangan total yang merupakan penjumlahan dari cadangan terbukti dan cadangan potensial. Periode di mana cadangan minyak bumi ini habis dalam skenario optimal dilambangkan dengan T^* .

III.1.c. Penentuan Tingkat Keuntungan Optimal

Tingkat keuntungan *optimal* dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$\sum_0^{T^*} \rho^t [py^*_t - c(y^*_t)] \quad (15)$$

di mana $py^*_t - c(y^*_t)$ adalah keuntungan/manfaat netto untuk tahun t , ρ^t menunjukkan faktor diskonto, dan T^* adalah periode (tahun) di mana cadangan minyak bumi akan habis.

III.1.d. Penentuan Periode Peralihan Menjadi Importir Netto

Periode Indonesia menjadi importir netto (dari eksportir netto) di bawah skenario *optimal* adalah periode di mana level konsumsi lebih besar dari pada level produksi optimal. Periode peralihan

ini dilambangkan sebagai T_{opt} . Karena dari solusi tingkat ekstraksi optimal (y_t^*) sudah didapatkan, maka masalah berikutnya adalah menentukan proyeksi tingkat konsumsi domestik.

Proyeksi konsumsi minyak bumi domestik bisa didapat dari Model Konsumsi-Produksi seperti yang akan dijelaskan di bawah ini. Hasil yang diperoleh dari sini adalah proyeksi tingkat konsumsi minyak bumi yang diberi lambang C_t .

III.1.d.1. Model Konsumsi-Produksi

Dinamakan Model Konsumsi-Produksi, karena selain model ini akan digunakan untuk memproyeksi tingkat konsumsi minyak bumi, juga akan digunakan untuk memproyeksi tingkat produksi minyak bumi dibawah skenario *business as usual* (y').

Model Konsumsi-Produksi ini menggunakan metode VAR (Vector Auto Regressions). Model VAR umumnya digunakan untuk keperluan proyeksi dan merupakan modifikasi dari model struktural yang berusaha memperlihatkan keterkaitan antar variabel tetapi dengan mempertimbangkan unsur dinamikanya. VAR memerlukan pembentukan model struktural dengan memodelkan setiap variabel endogen dalam sebuah sistem sebagai fungsi dari nilai *lagged* dari semua variabel endogen yang ada dalam sistem tersebut.

Untuk membuat proyeksi produksi minyak bumi domestik dengan VAR pertama-tama harus diidentifikasi dulu variabel-variabel yang terkait yang akan dimasukkan dalam Model Konsumsi-Produksi ini.

Model Konsumsi-Produksi mengasumsikan (menduga) adanya keterkaitan antara tingkat produksi minyak bumi domestik dengan tingkat konsumsi minyak bumi domestik. Karena kedua variabel ini yang akan dijadikan sasaran untuk proyeksi, maka keduanya dijadikan variabel endogen. Sedangkan untuk keperluan proyeksi diperlukan variabel eksogen.

Variabel eksogen yang diidentifikasi mempunyai keterkaitan dengan konsumsi dan produksi minyak bumi domestik adalah pendapatan nasional (GDP/*Gross Domestic Product*). Minyak bumi merupakan faktor penting dalam proses produksi. Karena fungsinya sebagai input penting bagi hampir semua barang dan jasa yang ada dalam perekonomian, maka permintaan akan minyak bumi merupakan permintaan turunan (*derived demand*) dari permintaan akan barang dan jasa (output) nasional⁷. Artinya, jika permintaan barang dan jasa meningkat, maka permintaan akan konsumsi minyak bumi juga meningkat. Output nasional ini dicerminkan lewat indikator GDP. Keterkaitan antar variabel dalam model VAR ini tidak disyaratkan harus dalam bentuk sebuah hubungan kausal.

Dengan pertimbangan di atas, maka variabel yang akan dimasukkan dalam model VAR ini adalah: konsumsi domestik dan tingkat produksi minyak bumi domestik sebagai variabel endogen, serta GDP sebagai variabel eksogen. Sehingga Model Konsumsi-Produksi dapat dijelaskan oleh persamaan berikut:

$$C_t = a_{11}C_{t-1} + \dots + a_{1p}C_{t-p} + b_{11}Y_{t-1} + \dots + b_{1p}Y_{t-p} + c_{11}GDP_t + d_1 + \varepsilon_{1,t} \quad (16)$$

$$Y_t = a_{21}C_{t-1} + \dots + a_{2p}C_{t-p} + b_{21}Y_{t-1} + \dots + b_{2p}Y_{t-p} + c_{21}GDP_{t-1} + d_2 + \varepsilon_{2,t} \quad (17)$$

di mana C adalah konsumsi minyak bumi domestik, Y adalah tingkat produksi minyak bumi domestik, GDP adalah *gross domestic product*, dan ε adalah *error term*. Parameter a , b , c dan d

⁷ Pyndick, Robert S. *Microeconomics*, McGraw-Hill International Edition.

adalah parameter yang akan diestimasi, dan t menunjukkan waktu. Data yang digunakan adalah data Indonesia dari tahun 1973 sampai dengan 2000.

Dengan memperhatikan karakteristik data produksi, di mana terdapat periode produksi yang meningkat tajam (masa *oil boom*) dan periode produksi yang menurun tajam (*oil crisis*) maka pada model di atas ditambahkan variabel *dummy*. Variabel *dummy* yang ditambahkan dalam variabel *dummy oil boom* (*dbum*) dan variabel *dummy oil crisis* (*dcr*). Sehingga model di atas berubah menjadi:

$$C_t = a_{11}C_{t-1} + \dots + a_{1p}C_{t-p} + b_{11}Y_{t-1} + \dots + b_{1p}Y_{t-p} + c_{11}GDP_t + d_1 + dbum_t + dcr_t + \varepsilon_{1,t} \quad (18)$$

$$Y_t = a_{21}C_{t-1} + \dots + a_{2p}C_{t-p} + b_{21}Y_{t-1} + \dots + b_{2p}Y_{t-p} + c_{21}GDP_{t-1} + d_2 + dbum_t + dcr_t + \varepsilon_{2,t} \quad (19)$$

III.1.d.1.a. Hasil Pengujian Model Konsumsi-Produksi

Sebelum model ini diestimasi, maka ada beberapa pengujian awal yang perlu dilakukan, yaitu pengujian *stationarity*. Pengujian *stationarity* dilakukan terhadap ketiga variabel yang terdapat dalam model ini –yaitu konsumsi, produksi dan GDP. Hasil pengujian *stationarity* menunjukkan bahwa ketiga variabel –produksi (Y), konsumsi (C), dan GDP (GDP) tidak stasioner. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Stationarity pada Variabel-Variabel dalam Model Konsumsi-Produksi (Phillips-Perron Unit Root Test)

Variabel	Keterangan	PP Test Statistic	Hasil
Y (prod)	Produksi	-2.348051	Tidak Stasioner
C (cons)	Konsumsi	-0.360315	Tidak Stasioner
GDP	GDP	-0.111001	Tidak Stasioner
dY[d(prod)]	<i>First difference</i> dari Produksi	-4.94386	Stasioner dengan nilai kritis 1%
dC[d(cons)]	<i>First difference</i> dari Konsumsi	-4.492084	Stasioner dengan nilai kritis 1%
dGDP[d(GDP)]	<i>First difference</i> dari GDP	-4.08402	Stasioner dengan nilai kritis 1%
Note:	1% Critical Value	-3.6852 (MacKinnon critical values)	
	5% Critical Value	-2.9705	
	10% Critical Value	-2.6242	

Tidak stasionernya suatu variabel mengharuskan adanya *treatment* sehingga variabel tersebut menjadi stasioner. *Treatment* yang dapat dilakukan adalah dengan membuat *difference* dari variabel yang tidak stasioner tersebut. Setelah diuji dalam bentuk *first difference*, ternyata ketiga variabel (Y , C dan GDP) menjadi stasioner. Karenanya, model yang akan diestimasi menjadi:

$$dC_t = a_{11}dC_{t-1} + \dots + a_{1p}dC_{t-p} + b_{11}dY_{t-1} + \dots + b_{1p}dY_{t-p} + c_{11}dGDP_t + d_1 + dbum_t + dcr_t + \varepsilon_{1,t} \quad (20)$$

$$dY_t = a_{21}dC_{t-1} + \dots + a_{2p}dC_{t-p} + b_{21}dY_{t-1} + \dots + b_{2p}dY_{t-p} + c_{21}dGDP_{t-1} + d_2 + dbum_t + dcr_t + \varepsilon_{2,t} \quad (21)$$

Selanjutnya yang harus dilakukan dalam model ini adalah menentukan panjang lag. Panjang lag diantaranya dapat dilihat dari nilai AIC (Akaike Information Criterion). Nilai AIC yang terendah itulah panjang lag yang terbaik. Tetapi ada *trade off* antara panjang lag dengan *degree of freedom*. Semakin panjang lag-nya, *degree of freedom*-nya semakin kecil (berkurang). Indikator lain yang dapat dijadikan pertimbangan juga adalah R squared-nya. Karenanya, penulis akan memperhatikan ketiga hal ini dalam menentukan panjang lag. Indikator yang digunakan untuk menentukan panjang lag dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Indikator untuk Menentukan Panjang Lag pada Model Konsumsi-Produksi

Panjang lag	R squared		AIC	SC	df
	d(prod)	d(cons)			
2	0.2648	0.2431	74.2545	75.0346	25
3	0.2367	0.3368	74.4200	75.4017	24
4	0.4064	0.6122	73.9266	75.1115	23
5	0.4537	0.7061	74.0840	75.4726	22
6	0.9344	0.9037	70.8426	72.4342	21
7	0.9837	0.9393	69.5328	71.3252	20

Tahap selanjutnya adalah menentukan lag dari model ini. Lag dari model time series dapat ditentukan dengan melihat beberapa indikator, seperti AIC dan SC. Semakin rendah nilai AIC dari suatu lag berarti lag tersebut semakin baik untuk digunakan. Tabel 3 merangkum nilai AIC dan SC. Ditunjukkan bahwa lag terbaik adalah 7, dan lag ini memiliki R-squared yang paling baik. Tetapi kita juga harus mempertimbangkan df (degree of freedom), sehingga kita harus memilih lag yang optimal dengan mempertimbangkan nilai AIC dan SC, R-squared dan df. Hasilnya adalah lag 6.

Hasil simulasi Model Konsumsi-Produksi dengan lag 6 dijelaskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} dY = & -47554597.48 - 0.5424*dY(-1) - 0.4705*dY(-2) - 0.2083*dY(-3) - 0.5776*dY(-4) \\ & - 0.3262*dY(-5) - 0.6029*dY(-6) + 0.6228*dC(-1) + 0.3816*dC(-2) + 0.3214*dC(-3) + \\ & 0.0665*dC(-4) - 0.1106*dC(-5) + 0.6014*dC(-6) + 0.0005*dGDP - 4169299.9*dcr + \\ & 61050045.06*dbum \end{aligned}$$

$$R\text{-squared} = 0.9344$$

$$\text{Adjusted R-squared} = 0.7374 \quad (22)$$

$$\begin{aligned} dC = & 49861848.46 + 0.0258*dY(-1) + 0.2406*dY(-2) + 0.1917*dY(-3) + 0.3326*dY \\ & (-4) + 0.1019*dY(-5) - 0.1037*dY(-6) - 0.1926*dC(-1) - 0.1319*dC(-2) - 0.6864*dC(-3) \\ & - 0.0456*dC(-4) - 0.2286*dC(-5) - 0.7197*dC(-6) + 0.0025*dGDP \\ & + 14106815.12*dcr + 42938329.4*dbum \end{aligned}$$

$$R\text{-squared} = 0.9037$$

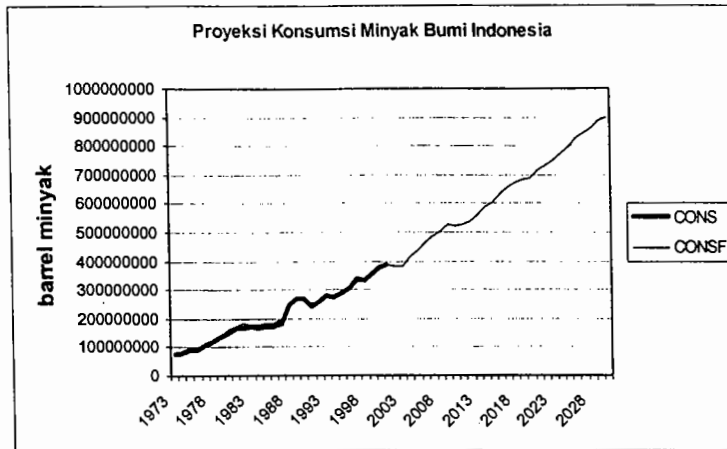
$$\text{Adjusted R-squared} = 0.6147 \quad (23)$$

III.1.d.1.b. Hasil Proyeksi Konsumsi dengan Model Konsumsi-Produksi

Untuk memproyeksi tingkat konsumsi minyak bumi domestik digunakan Model Konsumsi-Produksi yang menggunakan metode VAR seperti yang telah dijelaskan di atas. Dari Model Konsumsi-Produksi didapat hasil proyeksi konsumsi minyak bumi 2001-2030 seperti yang digambarkan pada Gambar 8 Hasil proyeksi ini didapat dengan memasukkan beberapa asumsi, yaitu:

- Variabel eksogen GDP diasumsikan bertumbuh sebesar 4% per tahunnya.
- Variabel eksogen dbum (dummy untuk masa boom produksi minyak) dan dcr (dummy untuk masa krisis produksi minyak) diasumsikan 0, artinya di masa mendatang (selama periode proyeksi (2001-2030)) tidak ada masa krisis atau boom produksi minyak.

Gambar 8.



III.2. Model Business as Usual (BUS)

Tingkat ekstraksi *business as usual* merupakan tingkat ekstraksi yang selama ini dijalankan di Indonesia. Tingkat ekstraksi ini bisa didapat dari Model Konsumsi-Produksi seperti yang telah dijelaskan pada Model Optimal di atas ketika menentukan tingkat konsumsi domestik. Hasil yang diperoleh dari sini adalah proyeksi tingkat produksi minyak bumi Indonesia di bawah skenario *business as usual* yang diberi lambang y' .

III.2.a. Penentuan Periode Cadangan Minyak Bumi Habis

Seperti pada penentuan periode cadangan habis dengan skenario optimal, dengan diperolehnya nilai produksi *business as usual*, maka dapat diketahui juga kapan cadangan minyak bumi Indonesia akan habis di bawah skenario *business as usual*. Periode di mana cadangan minyak bumi ini habis dalam skenario *optimal* dilambangkan dengan T' .

III.2.b. Penentuan Tingkat Keuntungan Business as Usual

Tingkat keuntungan *business as usual* dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$\sum_0^{T'} \rho^t [py'_t - c(y'_t, X_t)] \quad (24)$$

di mana $py'_t - c(y'_t, X_t)$ adalah keuntungan/manfaat netto untuk tahun t , ρ^t menunjukkan faktor diskonto, dan T' adalah periode (tahun) di mana cadangan minyak bumi akan habis. Seperti pada model ekstraksi optimal, harga minyak bumi diasumsikan konstan. Sedangkan biaya, didapat dari fungsi biaya yang telah diestimasi tetapi dengan menggunakan data proyeksi tingkat produksi *business as usual*.

III.2.c. Penentuan Periode Peralihan Menjadi Importir Netto

Periode Indonesia menjadi importir netto (dari eksportir netto) di bawah skenario *business as usual* adalah periode di mana level konsumsi lebih besar dari pada level produksi *business as usual*. Baik level produksi maupun level konsumsi dapat diketahui dari *forecast* Model

Konsumsi-Produksi. Periode peralihan menjadi importir netto di bawah skenario *business as usual* dilambangkan dengan T_{bus} .

III.3. METODOLOGI PENELITIAN

III.3.a. Sumber Data

Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah:

- Data ekstraksi/produksi minyak bumi Indonesia
- Data biaya ekstraksi dan eksplorasi minyak bumi Indonesia
- Data harga minyak bumi Indonesia
- Data cadangan potensial dan terbukti minyak bumi Indonesia
- Data konsumsi domestik minyak bumi Indonesia
- Data ekspor dan impor minyak bumi Indonesia
- Data GDP (*Gross Domestic Product*) Indonesia

Data yang digunakan pada penelitian ini berasal dari beberapa terbitan yang dipublikasikan oleh Pertamina seperti Buku Data Pertamina; Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (sebelumnya Departemen Pertambangan dan Energi) seperti *Mining and Energy Yearbook*; Asian Development Bank seperti ADB Book; dan IMF seperti *International Financial Statistic (IFS)*. Selain itu beberapa data yang diperoleh dari *website* diantaranya dari US Embassy Jakarta – www.usembassyjkt.gov (*Pertoleum Report Indonesia*), United States Energy Information Administration - www.eie.doe.gov, dll.

III.3.b. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan untuk memecahkan persoalan di atas adalah GAMS (*General Algebraic Modelling System*) dan E-Views (*Econometric Views*). GAMS adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menyelesaikan masalah *linear, non linear, mixed integer, mixed integer non linear optimization* dan *mixed non linear complementary problems*. GAMS digunakan untuk mencari level produksi optimal dan jangka waktu hingga cadangan habis. Sedangkan E-Views digunakan untuk keperluan *forecast* produksi minyak bumi pada level BUS (*business as usual*), *forecast* konsumsi minyak bumi, dan estimasi fungsi biaya.

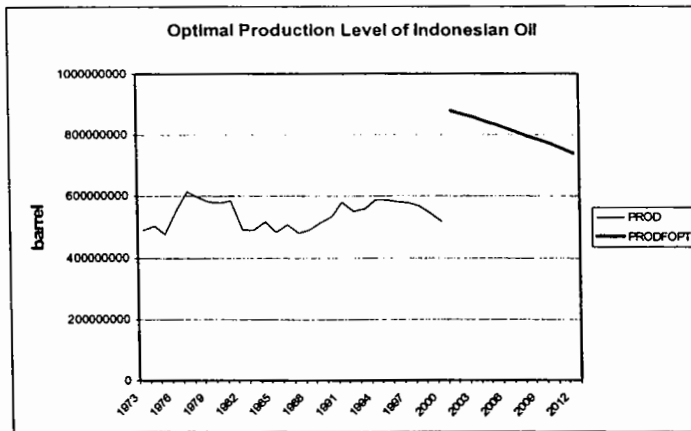
IV. HASIL SIMULASI DAN ANALISA

Bab ini berisi solusi-solusi dari Model Optimal, Model *Business as Usual*, dan Skenario Konstan. Skenario Konstan adalah skenario di mana tingkat produksi tidak berubah tiap tahunnya, sampai cadangan minyak habis. Tingkat produksi yang digunakan sebagai patokan adalah tingkat produksi minyak pada tahun 2000.

Dari ketiga skenario ini akan dilihat: (1) tingkat produksi dari masing-masing skenario; (2) keuntungan dari kegiatan ekstraksi; (3) periode di mana cadangan minyak Indonesia habis dan; (4) periode di mana Indonesia beralih menjadi importir minyak netto.

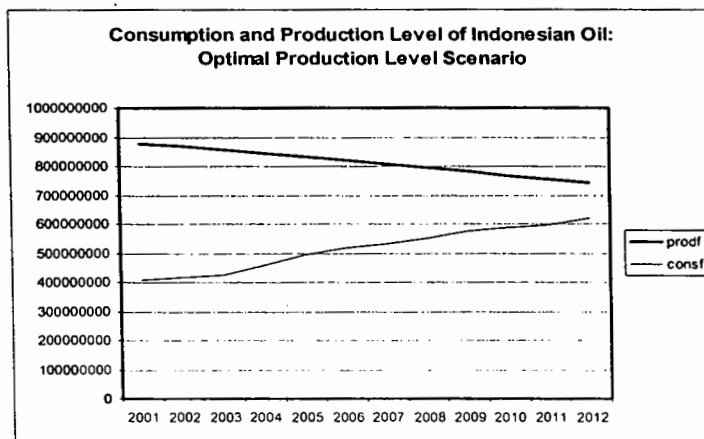
Tingkat Produksi Optimal. Tingkat produksi optimal yang didapat dengan menjalankan program GAMS dan digambarkan dalam Gambar 9. Terlihat bahwa terdapat kecenderungan bahwa tingkat produksi semakin menurun.

Gambar 9.



Dengan membandingkan proyeksi konsumsi dengan produksi, maka dapat diperkirakan bahwa di bawah skenario model Optimal, maka Indonesia akan mengalami periode menjadi importir netto minyak pada tahun 2012, yaitu ketika cadangan minyak bumi Indonesia habis. (Gambar 10).

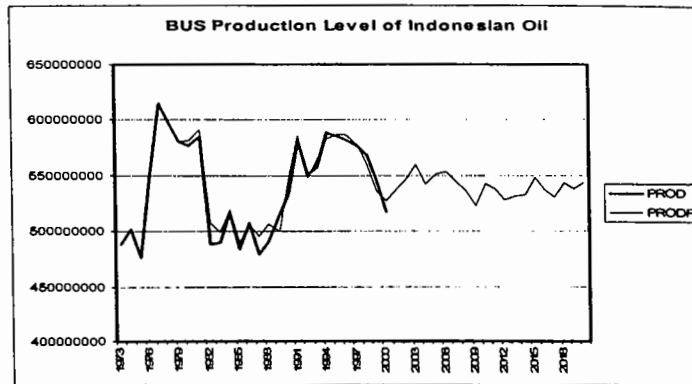
Gambar 10.



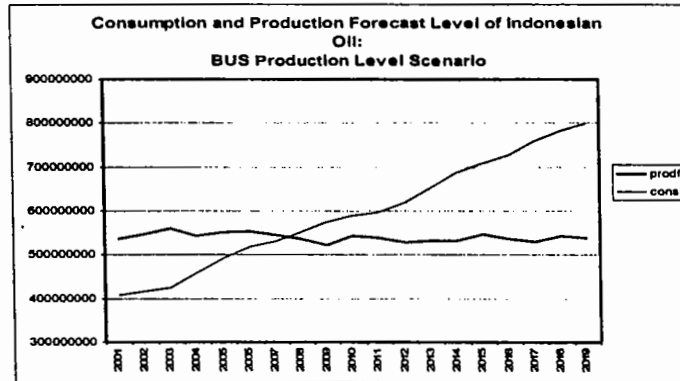
Tingkat Produksi Business as Usual. Dari Model Konsumsi-Produksi di atas, didapat hasil proyeksi tingkat produksi dari tahun 2001 sampai dengan 2020 (Gambar 11). Terlihat bahwa terdapat kecenderungan bahwa tingkat produksi relatif konstan (berubah pada bilangan yang tidak signifikan).

Periode Indonesia menjadi importir netto (dari eksportir netto) di bawah skenario *business as usual* adalah periode di mana level konsumsi (C_t) lebih besar dari pada level produksi *business as usual* (y_t). Baik level produksi maupun level konsumsi dapat diketahui dari *forecast* Model Konsumsi-Produksi. Periode peralihan menjadi importir netto di bawah skenario *business as usual* dilambangkan dengan T_{bus} .

Gambar 11.



Gambar 12.



Dengan membandingkan proyeksi konsumsi (Gambar 8) dengan produksi (Gambar 11), maka dapat diperkirakan bahwa Indonesia menjadi net importir minyak pada tahun 2008 (Gambar 12).

Perbandingan Skenario Optimal dan Business as Usual. Dengan tingkat produksi yang dihasilkan dari Model Optimal dan Model Business as Usual seperti yang digambarkan dalam Tabel 4, maka cadangan minyak bumi Indonesia akan lebih cepat habis jika menggunakan skenario Optimal (Tabel 5). Dilihat dari sisi nilai sekarang dari keuntungan bersih yang didapat, maka skenario Optimal memang memberikan keuntungan bersih yang lebih tinggi dari skenario BUS.

Hal ini dapat menjadi sesuatu yang dilematis, apakah kita akan mengambil skenario profit maksimum dengan mengorbankan cadangan yang cepat habis, atau sebaliknya, profit yang tidak terlalu besar dengan waktu yang lebih lama menjadi produsen minyak.

Untuk mengambil keputusan ini dapat tergantung oleh beberapa pertimbangan, diantaranya: kesiapan Indonesia mendapatkan sumber pendapatan lain selain dari minyak (sumber pendapatan APBN, hilangnya kontribusi minyak dari PDB). Jika Indonesia dapat mengandalkan sumber daya alam yang lain, misalnya dari gas bumi, maka skenario optimal sangat memungkinkan untuk dijalankan.

Walaupun dengan skenario optimal cadangan minyak bumi Indonesia akan lebih cepat habis, tetapi Indonesia akan menikmati periode menjadi eksportir netto minyak lebih lama dengan skenario ini dibandingkan dengan dua skenario lainnya. Hal ini perlu dipertimbangkan, karena dengan menjadi eksportir netto, minyak bumi masih dapat memberi kontribusi terhadap pemasukan devisa. Hal lain yang perlu dipertimbangkan adalah kapasitas produksi minyak. Pada skenario optimal, diproyeksikan tahun 2001 Indonesia sebaiknya memproduksi pada level 957.571.000 barel minyak. Level ini hampir dua kali lipat dari level produksi tahun 2000 yang hanya 517.488.690 barel. Apakah kapasitas terpasang untuk produksi minyak mencukupi jika dijalankan skenario optimal?

Tabel 4 . Perbedaan Tingkat Produksi Optimal dan Business as Usual

Tahun	Tingkat Produksi Optimal	Tingkat Produksi BUS
2001	878858000	537237477.8
2002	867818000	546441893.5
2003	856502000	559449797.3
2004	844904000	542261844.1
2005	833015000	551202743.5
2006	820830000	553116185.1
2007	808339000	544556670.3
2008	795537000	536062051.5
2009	782414000	522683659.2
2010	768963000	542675701.3
2011	755176000	538086649.2
2012	741004000	527967257.5
2013		531649132.8
2014		532964886.2
2015		548094980.6
2016		537172177
2017		530543805.2
2018		543652475.2
2019		537922008.9*)

*) tidak *profitable* untuk diproduksi

Tabel 5. Perbedaan Hasil Simulasi Model Optimal dan Model Business as Usual

	Skenario Optimal	Skenario BUS
	2012	2018
Periode Cadangan Habis		
Periode Menjadi Importir Netto	2012	2008
Akumulasi Profit Terdiskonto (US\$)	145,41 milyar	143,26 milyar

V. SARAN DAN PENELITIAN SELANJUTNYA

V.1 Saran

Dengan melihat perbedaan tingkat keuntungan yang cukup signifikan antara Model Optimal dengan dua skenario lainnya, maka disimpulkan sebaiknya Indonesia menetapkan tingkat produksi pada level optimal. Tentunya hal-hal yang mendukung memungkinkannya dijalankan skenario optimal harus terpenuhi, dan pertimbangan dipilihnya skenario Optimal juga didasarkan pada pertimbangan bahwa:

- Untuk penerimaan devisa mulai terlihat tren bahwa peranan minyak memang sudah turun dari waktu ke waktu, dan tergantikan oleh gas. Sektor gas bumi saat ini memang sedang digalakkan, karena Indonesia tercatat sebagai salah satu pemilik cadangan gas bumi terbesar di dunia (setelah Qatar).
- Sudah saatnya penerimaan (anggaran) negara beralih fokus untuk tidak mengandalkan pada penerimaan dari sumber daya alam, tetapi pajak –terutama PPh dan PPn. Dengan makin kompetitifnya pasar energi dunia, impor minyak bumi (atau energi primer lainnya) akan lebih mudah. Tidak pula salah Indonesia menjadi importir netto, selama masih bisa bersaing dalam sektor-sektor yang lain.

V.2 Penelitian Selanjutnya

Ada beberapa hal yang merupakan kekurangan dari penelitian ini yang diharapkan dapat diperbaiki pada penelitian-penelitian selanjutnya. Kekurangan tersebut terutama terdapat pada asumsi-asumsi yang digunakan yang membuat model ini harus dikembangkan sehingga lebih mencerminkan kondisi sebenarnya.

Pertama, dalam model ini –baik Model Optimal maupun Model Business as Usual diasumsikan tingkat harga tetap, yaitu pada tingkat harga minyak mentah internasional akhir tahun 2000 (karena prediksi dimulai untuk tahun 2001). Hal ini dilakukan karena untuk memprediksi harga minyak mentah itu sendiri dibutuhkan model yang cukup rumit, yang sulit jika harus dilakukan dalam penelitian ini. Selain itu, harga minyak internasional (terutama dalam jangka pendek) lebih dipengaruhi oleh faktor non-ekonomi, terutama politis, seperti perang Irak, pendirian OPEC, dll. Dan ini tidak sesuai dengan lintasan harga untuk banyak model (dasar) *non-renewable resources* di mana peningkatan harga netto pertumbuhannya mengikuti tingkat bunga. Karena itu faktor harga diasumsikan dipatok pada nilai tertentu, yang tentunya dapat diubah sesuai dengan perkembangan harga minyak yang sebenarnya terjadi, sehingga dapat dilihat dampaknya pada tingkat produksi, tingkat keuntungan, kapan cadangan habis, dan kapan Indonesia menjadi importir netto di bawah skenario optimal maupun BUS. Dan juga, walaupun harga dipatok pada nilai tertentu yang nilainya tidak berubah, kita tetap dapat membuat perbandingan antara Model Optimal dan Model Business as Usual akan indikator-indikator yang akan kita cari (tingkat produksi, tingkat keuntungan, periode cadangan habis, periode menjadi importir netto).

Kedua, ketepatan model yang berhubungan dengan data yang digunakan. Dalam model ini semua data menggunakan data dengan skala nasional, sedangkan model dasar optimasi dinamik yang digunakan untuk kasus ini berbicara tentang skala perusahaan (per pemilik sumber daya), yang biasanya dihubungkan dengan suatu ladang minyak tertentu. Salah satu dampaknya adalah pada ketepatan estimasi fungsi biaya, karena ladang minyak yang berbeda –terutama antara *on shore* dan *off shore*- mempunyai struktur biaya yang berbeda pula (*low cost vs high cost source*). Peng-agregasian data ini dikhawatirkan dapat membuat bias hasil simulasi.

Ketiga, permasalahan dalam data. Data yang digunakan untuk simulasi terdiri dari berbagai instansi –yang terkait dengan sektor perminyakan- yang antar instansi tersebut terkadang mempunyai angka yang berbeda (untuk periode yang sama). Hal ini sangat mungkin terkait dengan pembulatan atau perbedaan definisi akan indikator tersebut. Karena tidak memungkinkan untuk memperoleh definisi dari tiap indikator tersebut, maka pemilihan penggunaan data sesuai dengan preferensi subjektif penulis.

Keempat, data yang digunakan dalam mengestimasi fungsi biaya sangat sedikit. Hal ini karena sulitnya mencari data tentang biaya eksplorasi dan ekstraksi minyak bumi (terutama dari perusahaan-perusahaan). Selain itu, data biaya yang diperoleh juga tidak terdapat definisinya, sehingga bisa jadi tidak sama dengan definisi biaya yang terdapat dalam model.

Kelima, dasar asumsi *discount rate* yang digunakan masih mengacu pada *privat discount rate*, dan belum *social rate*.

Keenam, metode VAR (Vector Auto Regression) yang digunakan untuk membuat proyeksi, baik tingkat produksi minyak bumi (skenario business as usual) atau tingkat konsumsi minyak bumi domestik. Metode VAR umumnya digunakan untuk memprediksi variabel-variabel yang berhubungan dengan pasar, seperti misalnya harga saham, kurs, dll. Metode ini belum pernah digunakan sebelumnya untuk memprediksi tingkat produksi minyak bumi, karena memang perilaku dari produksi minyak bumi adalah rigid, sehingga lebih tepat untuk ditaruh sebagai variabel eksogen. Tetapi, dengan pertimbangan keyakinan akan pengujian statistik, selama hasil simulasi VAR memberikan indikator-indikator untuk proyeksi yang baik, maka penulis menggunakan metode ini.

Ketujuh, definisi manfaat (keuntungan) bersih yang digunakan dalam model optimal. Manfaat bersih didefinisikan sebagai selisih antara pendapatan dan biaya yang dikeluarkan untuk produksi. Dalam hal ini yang krusial untuk dicermati adalah definisi biaya yang digunakan. Biaya di sini hanya mencakup biaya eksplorasi dan ekstraksi, dan tidak memperhitungkan biaya non-ekonomis lain seperti: biaya lingkungan (dari pencemaran produk-produk minyak tanah maupun degradasi lingkungan akibat proses ekstraksi minyak tanah), biaya/dampaknya terhadap anggaran pemerintah (karena sebagian dari pendapatan minyak dimasukkan dalam APBN), dll.

Semua kekurangan tersebut diharapkan dapat diperbaiki pada penelitian-penelitian selanjutnya. Hal yang menarik untuk pengembangan model ini tentunya dengan memasukkan unsur ketidakpastian, seperti yang dikembangkan oleh Pindyck (1979). Dengan memasukkan unsur ketidakpastian, baik dari sisi suplai maupun permintaan, maka hasil yang diperoleh akan lebih masuk akal, yaitu dengan diperolehnya suatu *range* nilai tertentu dari setiap variabel yang dicari.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. *Mining and Energy Year Book: A New Paradigm Towards The Third Millennium*. Department of Energy and Mineral Resources. Yayasan Pertambangan dan Energi, 2000.
- Asian Development Bank**, berbagai terbitan.
- Arifin, Bustanul**. *Pengelolaan Sumberdaya Alam Indonesia: Perspektif Ekonomi, Etika dan Praksis Kebijakan*. Erlangga, 2001.
- Badan Pusat Statistik**. Kantor Pusat BPS, Jakarta, berbagai terbitan.
- Barnes, Philip**. *Indonesia: The Political Economy of Energy*. Oxford University Press, 1995.
- Bartlett III, Anderson G. et.al**. *Pertamina: Indonesian National Oil*. Amerasian Ltd, 1972.
- Brooke Anthony, et.al**. *GAMS Release 2.25, A User GUIDE*, GAMS Development Corporation, Washington DC, 1996.

- Buku Tahunan Pertambangan dan Energi Indonesia 1989.** Departemen Pertambangan dan Energi R.I, Jakarta, 1989.
- Buku Data Pertamina,** berbagai terbitan.
- Chapman, D.** *Environmental Economics: Theory, Application, and Policy.* Addison Wesley-Longman. Reading, MA, 2000.
- Chiang, Alpha C.** *Elements of Dynamic Optimization,* McGraw-Hill, 1992.
- Conrad, John M. and Colin W. Clark.** *Natural Resource Economics: Notes and Problems,* Cambridge Univ. Pr , 1987
- Conrad, J.** *Resource Economics.* Cambridge University Press. Cambridge, UK, 1999.
- Cuthbertson, Keith, Stephen G. Hall, and Mark P. Taylor.** *Applied Econometric Techniques,* Hertfordshire: Harvester Wheatsheaf, 1992.
- Dasgupta, Partha and Geoffrey Heal.** "The Optimal Depletion of Exhaustible Resources." *The Review of Economic Studies,* Vol. 41, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, 1974, hal. 3-28.
- Dasgupta, P.S. and G.M. Heal.** *Economic Theory and Exhaustible Resources.* Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1979.
- Data dan Informasi Minyak dan Gas Bumi 2001.** Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi. KORPRI Sub Unit Ditjen Migas, Edisi ke-5, 2001.
- Davidson, Paul.** "Public Policy Problems of the Domestic Crude Oil Industry." *The American Economic Review,* Vol. 53, No. 1, Maret, 1963, hal. 85-108.
- Departemen Pertambangan dan Energi Republik Indonesia.** *55 Years of Mining and Energy Development,* 2001.
- Devarajan, Shantayanan and Anthony C. Fisher.** Hotelling's. "Economics of Exhaustible Resources": Fifty Years Later. *Journal of Economic Literature,* Vol. 19, Issue Maret, 13, 1981, hal. 65-73.
- Enders, Walter.** *Applied Econometric Time Series,* Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics, Iowa University, 1995.
- Farzin, Y. Hossein.** "The Effect of the Discount Rate on Depletion of Exhaustible Resources." *The Journal of Political Economy,* Vol. 92, No. 5, 1984, hal. 841-851.
- Fisher, Anthony C.** *Resource and Environmental Economics,* Cambridge University Press, 1981.
- Goldstein, Eban.** *Economics and the Environment.* (2nd edition) Simon and Schuster, New Jersey, 1999.
- Gujarati, Damodar N.** *Basic Econometric,* 3rd ed. McGraw-Hill, 1995.
- Halvorsen, Robert and Tim R. Smith.** "A Test of the Theory of Exhaustible Resources." *The Quarterly Journal of Economics,* Volume 106, Issue Februari I, 1991, hal. 123-140.
- Holden, Darryl and Roger Perman.** "Unit Roots and Cointegration for the Economist", in *Cointegration for the Applied Economist,* ed. B. Bhaskara Rao, St. Martin Press, New York, 1994.
- Hotelling, Harold.** "The Economics of Political Economy." *The Journal of Political Economy,* Vol. 39, No. 2, April, 1931, hal. 137-175.
- Kamien, Morton I and Nancy L. Schwartz.** *Dynamic Optimization: The Calculus of Variations and Optimal Control in Economics and Management.* New York: North Holland, 1981.
- Khanna, N. and D. Chapman** Time Preference, Abatement Costs, and International Climate Policy: An Appraisal of IPCC 1995. *Contemporary Economic Policy.* XIV, April, 1996, hal. 56-66.

- Khanna, Neha.** "On the Economics of Non-Renewable Resources." *Working Paper Number 0102 Department of Economics, Binghamton University, New York*, Januari 30, 2001.
- LPEM.** Laporan Akhir: Kajian Penyediaan dan Kebutuhan BBM serta Distribusi untuk Sektor Transportasi untuk Sektor Transportasi, Rumah Tangga dan Industri di Indonesia. LPEM, Jakarta, 2002.
- Departemen Pertambangan dan Energi.** Laporan Akhir: Studi Penyusunan Kebijakan dan Perencanaan Energi Nasional.
- Livernois, John R. And Russel S. Uhler.** "Extraction Cost and the Economics of Nonrenewable Resources." *The Journal of Political Economy*, Vol. 95, No. 1, Februari, 1987, hal. 195-203.
- Maddala, G.S. and In-Moo Kim.** *Unit Roots Cointegration and Structural Change*. Cambridge University Press, 1998.
- Mardanugraha, Euginia.** *Analisis Dinamis Terhadap Perekonomian Ikan Lemuru (Sardinella Longiceph) di Selat Bali*. Thesis, 2000.
- Nordhaus, W.** *Managing the Global Commons: The Economic of Climate Change*. MIT Press, Cambridge, MA, 1994.
- Parfit, D.** Energy Policy and the Further Future: The Social Rate of Discount. In *Energy and the Future*. MacLean, D. and P.G. Brown (eds). Rowman and Littlefield, Totowa, NJ, 1983, hal. 31-37
- Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.** Pertamina Memasuki Abad Ke-21. Ditjen Migas, 2000
- Pindyck, Robert S.** "The Optimal Exploration and Production of Nonrenewable Resources." *The Journal of Political Economy*, Vol. 86, Issue 5, Oktober, 1978, hal. 841-861.
- Pindyck, Robert S. and Daniel L. Rubinfeld.** *Econometric Models and Econometric Forecast*. McGraw-Hill International Edition, 1998.
- Pindyck, Robert S. and Daniel L. Rubinfeld.** *Microeconomics*. McGraw-Hill International Edition.
- Quyen, N.V.** "Exhaustible Resources: A Theory of Exploration." *The Review of Economic Studies*, Vol. 58, No. 4, Juni, 1991, hal. 777-789.
- Rao, B. Bhaskara.** "Cointegration for The Applied Economist". St. Martin Pers, 1994.
- Resosudarmo, B.P. and O. Tanujaya.** "Energy Demand in Indonesia: Past and Future Trend." *Indonesian Quarterly*, Februari 30, 2002, hal. 158-174.
- Sari, Agus P. et.al.,** "Life After Oil: Energi untuk Mendukung Pembangunan yang Berkelanjutan", Pelangi, 2002.
- Seda, Francisia S.S.E.** *Petroleum Paradox: Natural Resources and Development in Indonesia, 1967-1997*. A Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy at the University of Wisconsin, Madison, 2001.
- Soesastro, Hadi and Budi Sudarsono.** *Minerals and Energy in Indonesia: Production, Consumption and Trade 1966-1981*. ASEAN-Australia Joint Research Project, Study on Minerals and Energy Trade & Minerals Processing, First Draft, Februari, 1983.
- Solow, R.M.** The Economics of Resources or the Resources of Economics? *American Economic Review*. 64 (Proceedings), 1974, hal. 1-14.
- Solow, Robert M. and Frederic Y. Wan.** "Extraction Cost in the Theory of Exhaustible Resources." *The Bell Journal of Economics*, Vol. 7, No. 2, 1976, hal. 359-370.
- Statistik Ekonomi Keuangan Indonesia.** Bank Indonesia, Jakarta, berbagai terbitan.