

Pemodelan Sistem Tenaga Fosil Malaysia: Satu Pendekatan Pemrograman Linear

(Malaysia Fossil Energy Systems Modelling: A Linear Programming Approach)

Ahmad Mohd Yusof

Zulkifli Md Nopiah

Maznah Banu Mohamed Habiboo Raman

Universiti Kebangsaan Malaysia

ABSTRAK

Malaysia sebagai sebuah negara pengeluar tenaga memerlukan satu dasar dan perancangan tenaga yang lestari untuk mengurus sumber aslinya bagi kegunaan rakyat dan generasi akan datang. Kertas ini akan membincang penemuan awal pengoptimuman sistem minyak mentah dengan menggunakan kaedah pemrograman linear dengan mengambilkira beberapa proses penukaran, transformasi dan pengeluaran serta permintaan petroleum. Model tersebut bermula dengan membina sistem minyak mentah yang dihubungkan kepada beberapa sektor ekonomi seperti sektor pengangkutan, pertanian domestik, perindustrian dan bukan tenaga. Antara kekangan yang dipertimbangkan dalam kertas ini ialahimbangan bahan bagi produk petroleum, kapasiti logi penapis dan rezab sumber tenaga. Pengoptimuman awal menunjukkan bahawa model tersebut mampu memberikan keputusan yang memberangsangkan apabila kriteria meminimum import produk petroleum digunakan.

Kata kunci: dasar tenaga; pemrograman linear; perancangan tenaga; petroleum

ABSTRACT

Malaysia being one of the energy producer countries requires sustainable energy policy and planning to manage its natural resources for its people and the future generations. This paper presents early results on the optimization of the crude oil system using linear programming by considering several conversion transformation and production processes and demand for petroleum products. The model starts by building the crude oil system which is linked to the economic sectors such as transportation, agriculture, domestic, industry and non energy. Among the constraints considered are the material balance for all petroleum products, the capacity of the refineries and energy resources reserves. Initial optimization shows that the model performs quite promising when minimizing the imports of petroleum products.

Keywords: energy policy; linear programming; energy planning; petroleum

PENDAHULUAN

Penglibatan Malaysia menggunakan model tenaga dunia bermula seawal tahun 80'an di mana sebuah syarikat perunding antarabangsa dari Switzerland telah diminta untuk mengkaji rancangan jangka panjang tenaga bagi Malaysia. Model tenaga dunia seperti Wein Automatic System Planning (WASP), Energy and Power Evaluation Program (ENPEP) dan Model for the Analysis of Energy Demand (MAED) telah digunakan, tetapi kecuali model WASP (yang digunakan disektor elektrik) kesemua model menghadapi beberapa kekangan dan kelemahan dalam menganalisis senario tenaga di Malaysia. Ini disebabkan oleh kekurangan data yang sesuai dan ketakupayaan struktur model memerihalkan sistem tenaga Malaysia yang didapati berbeza dengan sistem tenaga bagi negara-negara barat. Justeru pelunjuran tenaga yang dihasil oleh model tersebut tidak dapat dilaksanakan ketika itu (National Working Group 1990). Di samping itu, bilangan pakar perancang tenaga tempatan agak terhad dan sukar untuk melaksanakan pelunjuran tersebut dengan jayanya.

Satu lagi model tenaga dunia yang digunakan dalam mengkaji keperluan jangka panjang tenaga Malaysia ialah model Market Allocation (MARKAL) yang dibangunkan bersama oleh FKA (institut tenaga German) dan Brookhaven National Laboratory New York (BNL). Di bawah program kerjasama Ekonomi antara ASEAN dengan Australia, beberapa pegawai perancang tenaga dari beberapa institusi seperti Tenaga Nasional Berhad (TNB), PETRONAS, Suruhanjaya Tenaga Malaysia, IPTS dan IPTA telah diberi kursus intensif pengenalan dan pembiasaan diri dengan model tersebut. Pusat Tenaga Malaysia sebagai hos kajian bertanggungjawab menyediakan data yang relevan untuk digunakan oleh model, manakala pihak Australia menyediakan tenaga pakar. Beberapa kajian simulasi tentang pelunjuran tenaga Malaysia telah dilakukan dengan mengambil kira beberapa senario kenaikan harga minyak mentah dunia. Seperti model lain, model MARKAL juga tidak berupaya menghasilkan pelunjuran tenaga yang munasabah bagi Malaysia oleh kerana pangkalan data yang ada ketika itu tidak terlalu terperinci untuk membolehkan model tersebut



digunakan. Tambahan pula MARKAL dibentuk berasaskan kepada sistem tenaga negara barat yang mana ciri sistem tenaganya amat berbeza dengan sistem tenaga Malaysia.

Dibawah rangka kerjasama ASEAN, kajian tentang gambaran permintaan tenaga bagi negara negara ASEAN telah dilaksanakan bersama oleh ASEAN Center for Energy dan The Energy Data and Modeling Center, Institute of Energy Economics Japan dengan menggunakan model Long Range Energy Alternatives Planning System (LEAP) yang dibentuk oleh Stockholm Environmental Institute (SEI). Pelunjuran tenaga bagi Malaysia pada tahun 2030 telah dibuat dengan menggunakan beberapa senario pertumbuhan sederhana dan tinggi (The 2nd ASEAN Energy Demand Outlook 2009). Sungguh pun pelunjuran tersebut memberikan gambaran tentang struktur masa depan campuran tenaga negara, namun model tersebut lebih menjurus kepada perancangan bersepadu antara sumber asli dengan penilaian gas rumah hijau terutama sekali bagi negara membangun. Pendekatan LEAP berasaskan kepada model ekonometrik dan simulasi yang dikaitkan dengan rangka kerja perakaunan dimana pengiraan “kos-faedah”, pencemaran tenaga dan sebagainya dibuat. Berlainan dengan model MARKAL, LEAP pada ketika ini bukan model pengoptimuman bahkan ia juga bukan model bagi sesuatu sistem tenaga. Sekali lagi model tenaga dunia masih belum berupaya memberikan analisis tenaga yang berkesan kepada Malaysia.

Memandangkan persekitaran tenaga dunia yang dinamik tetapi mudah rapuh, model tenaga yang bercirikan pelbagai struktur dan matlamat perlu di bentuk bagi tujuan analisis jangka panjang tenaga negara khususnya dari segi memperoleh campuran tenaga yang unggul disamping mengkaji kesan kenaikan harga minyak mentah dunia terhadap ekonomi Malaysia. Oleh itu, satu model tenaga bersepadu “Integrated Malaysian Energy Model (IMEM)” sedang dalam proses pembentukan dengan menggunakan pendekatan Reference Energy System (RES). Sungguh pun begitu, konsep, ciri dan struktur yang terdapat pada model tenaga dunia diambil kira dalam pembentukan tersebut. Perbincangan terperinci tentang perihalan model IMEM boleh diperoleh pada (Ahmad 2010). Justeru, objektif utama kertas ini ialah untuk melaporkan beberapa penemuan awal tentang pengoptimuman sistem minyak mentah negara dalam memenuhi permintaan bagi produk petroleum secara eksogen dengan menggunakan kaedah pemrograman linear (PL). Kaedah ini dipilih atas kebolehan melakukan analisis kepekaan yang menjadi tonggak kepada kajian senario: satu pendekatan yang diminati oleh kebanyakan pakar tenaga dalam kajian jangka panjang perancangan tenaga. Tambahan pula kaedah PL memudahkan pengenalan tenaga atau teknologi baru dalam sistem tenaga secara keseluruhan tanpa melibatkan perubahan radikal struktur model. Sebagai contoh Malaysia dijangkakan menggunakan tenaga nuklear pada tahun 2025 bagi sektor elektrik dan tenaga tersebut

berserta dengan infrastruktur dan teknologi yang berkaitan dengannya boleh diperkenalkan dengan mudah sebagai sebahagian daripada sistem tenaga negara. Begitu juga halnya apabila sesuatu sistem tenaga perlu dikeluarkan atau ditamatkan daripada model atas alasan kehabisan rezab atau kehausan teknologi.

KAJIAN LITERATUR

Salah satu model tenaga dunia yang awal digunakan oleh banyak negara ialah model LEAP untuk menilai dasar pembangunan tenaga khususnya yang berkaitan dengan penganggaran emisi persekitaran disebabkan oleh penggunaan tenaga (Limmechokchai 2007). Energy Flow Optimization Model (EFOM) ialah satu model tenaga yang dibentuk untuk menganalisis sistem tenaga secara keseluruhan dan banyak digunakan oleh beberapa negara sebagai alat berfaedah untuk analisis dan perancangan sektoral dalam rangka kerja sistem tenaga. EFOM yang dibentuk oleh Kesatuan Ekonomi Eropah berorientasikan kejuruteraan dan menggunakan pendekatan “bottom-up” bagi sistem tenaga kebangsaan sesebuah negara (Cormio 2003). Project Independence Evaluation System (PIES) merupakan satu model tenaga yang dibentuk pada tahun tujuh puluhan bertujuan untuk memperoleh harga dan kuantiti keseimbangan bagi bahan bakar di sektor tenaga di Amerika Syarikat dengan menggunakan model pemrograman linear dan ekonometrik (Gabriel et al. 2000). Model Market Allocation (MARKAL) adalah satu model tenaga berskala besar berorientasikan teknologi yang mengintegrasikan sektor penawaran dan pengguna akhir bagi sesuatu ekonomi. Berasaskan kepada pendekatan model “bottom-up” MARKAL di bangunkan dengan menggunakan sistem dinamik dan pemrograman linear sebagai kaedah pengoptimuman (Kanudia 1998) dan disokong oleh Energy Technology and Systems Analysis Program (ETSAP) daripada International Energy Agency (IEA). Banyak negara yakni melebihi 30 buah telah menggunakan model MARKAL yang dikatakan mempunyai jejak rekod lama dalam penyelidikan dasar dan akademik (Kannan 2009). Satu keistimewaan model MARKAL ialah keupayaannya menangani peristiwa peristiwa tak dijangka disamping mempunyai ciri-ciri berbilang kawasan (Loulou et al. 1996). Di samping, itu banyak lagi model tenaga pelbagai ciri dan struktur telah dibentuk semenjak berlakunya krisis pertama minyak mentah pada awal tahun tujuh puluhan. Model-model tersebut boleh dikategorikan kepada tiga iaitu model satu bahan bakar, model pelbagai bahan bakar sama ada dihubungkan dengan model ekonomi secara formal atau sebaliknya. Pendekatan pemodelan dan ruang lingkup model tersebut berbeza tetapi yang paling kerap digunakan ialah sistem dinamik dan pemrograman linear manakala ruang lingkungannya meliputi daripada sesuatu negara kepada pelbagai negara bukan komunis bagi perancangan jangka pendek hingga ke jangka panjang (Ahmad 1984).

PEMBENTUKAN MODEL TENAGA

RANGKA KERJA SISTEM MINYAK MENTAH

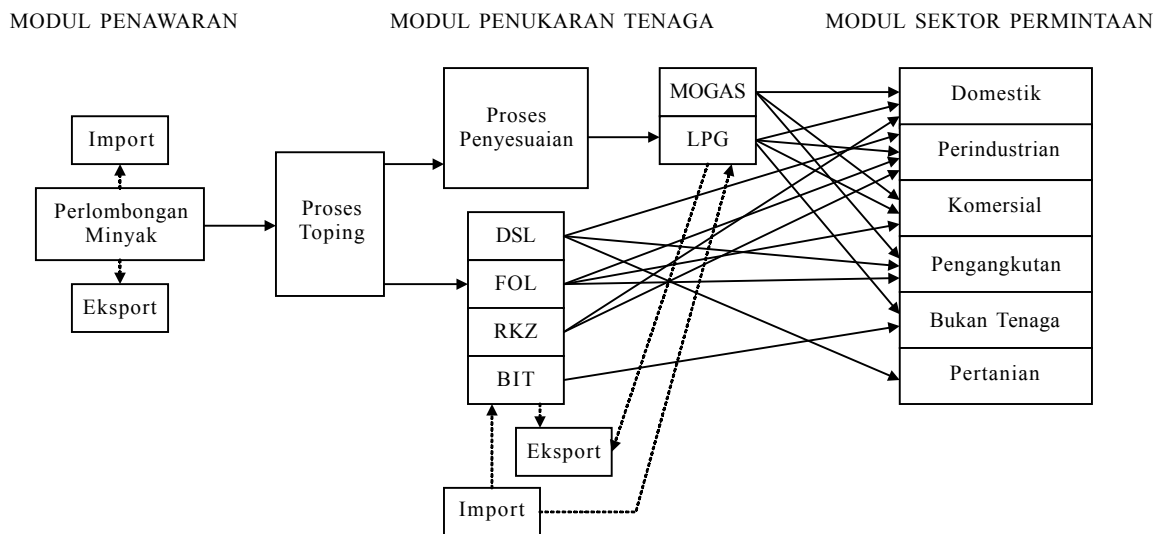
Pemodelan dasar tenaga perlu dilakukan dalam konteks analisis dasar tenaga yang membolehkan pemilihan beberapa alternatif atau opsyen dibuat untuk memenuhi keperluan tenaga bagi sesuatu masyarakat. Akibat daripada opsyen dasar, pemilihan sesuatu sumber tenaga dan analisis penyelidikan dasar (membuat keputusan) adalah sebahagian daripada isu yang sering dibangkitkan dalam analisis dasar. Sungguh pun begitu, model tenaga boleh dijadikan alat yang berkesan dalam analisis dasar. Penggunaan model berupaya menggambarkan sistem yang kompleks dalam keadaan yang mudah faham disamping memberi rangka kerja yang tekal untuk analisis senario. Pada umumnya model adalah satu perwakilan atau pengabstrakan dipermudahkan bagi beberapa aspek sesuatu sistem yang dikaji. Model juga memerihalkan sesuatu sistem dari segi komponen, pemboleh ubah dan parameter serta hubungan sesama mereka. Jesturu, sesuatu model yang teguh berupaya memberikan satu rangka kerja untuk mengurus data dan menaksir kesan perubahan kepada pemboleh ubah dan parameter sistem. Khususnya pembentukan model tenaga bermula dengan menangani beberapa persoalan atau hipotesis spesifik tenaga yang dikaitkan dengan isu-isu tempatan dan antara bangsa. Lazimnya persoalan tersebut mempunyai pelbagai dimensi dan struktur yang agak sukar diserapkan kedalam satu model tenaga. Oleh itu, asas pembentukan sesuatu model tenaga dipaksakan kepada memerihalkan sistem sesuatu tenaga dengan terperinci dan menghubungkannya dengan beberapa model lain seperti model alam sekitar, model ekonometrik dan sebagainya.

Berasaskan kepada model tenaga dunia yang dibentuk oleh institut tenaga antarabangsa khususnya model EFOM dan MARKAL, pelbagai tenaga yang wujud

dalam sesuatu negara diwakili oleh satu rangkaian tenaga mengalir daripada sumber aslinya (perlombongan dan import) kepada beberapa proses penukaran, transformasi penjanaan untuk menghasilkan beberapa produk tenaga bagi kegunaan disektor permintaan (Ahmad 2010). Semakin tinggi permintaan produk tenaga, semakin tinggi pula sistem tenaga meningkatkan aktiviti pengeluaran bagi memenuhi permintaan tersebut. Rajah 1 menunjukkan penyajian skematik atau carta aliran bagi sistem minyak mentah.

Minyak mentah pelbagai adunan di lombong di telaga luar pantai Malaysia sebahagian nya di eksport manakala yang selebihnya di hantar untuk proses penukaran dan transformasi. Disamping itu, Malaysia turut juga mengimport beberapa adunan minyak mentah untuk memenuhi permintaan tinggi bahan tersebut. Pada modul Penukaran Tenaga minyak mentah diproses melalui dua fasa iaitu fasa toping dan fasa hidropenyesuaian. Minyak mentah yang dihantar ke logi penapis toping akan menghasilkan beberapa produk asas seperti disel, minyak bahan api, kerosin, bitumen, nafta dan gas mentah.

Fasa kedua ialah fasa hidropenyesuaian di mana gas mentah dan nafta akan diproses untuk menghasilkan masing masing petroleum gas cecair (LPG) dan gasolin motor (MOGAS). Modul Penukaran Tenaga juga membenarkan produk tersebut diimport atau dieksport mengikut keperluan sesuatu masa. Produk tersebut apabila memasuki Modul Sektor Permintaan akan di agihkan mengikut sektor yang dikategorikan kepada sektor domestik (RES), perindustrian (IND), komersial (COM), pengangkutan bukan tenaga (NOE) dan pertanian (ARG). Rangkaian tersebut membolehkan hubungan maklum balas positif antara modul dalam sistem tenaga yakni apabila permintaan produk tenaga meningkat, maklumat tersebut akan di salurkan kepada modul penawaran tenaga dan penukaran tenaga. Modul ini akan meningkatkan aktiviti mereka untuk memenuhi



RAJAH 1. Carta Aliran bagi Sistem Minyak Mentah

peningkatan permintaan. Pada peringkat kini pembentukan model hanya minyak mentah adunan Tapis diambilkira dalam sistem minyak mentah manakala minyak mentah pelbagai adunan seperti Bintulu, Miri Light, Dulang dan Labuan akan memasuki sistem minyak mentah pada peringkat kemudian pembentukan model.

PERSAMAAN BAGI MODEL

Berasaskan kepada carta aliran model seperti pada Rajah 1 tiga jenis kekangan telah di bentuk untuk mengoptimumkan model tersebut iaitu imbalan bahan bagi semua adunan minyak mentah, produk petroleum dan permintaan bagi produk petroleum, kapasiti logi penapis dan rezab sumber tenaga (minyak mentah).

Persamaan Imbalan Bahan

Persamaan 1 mewakili imbalan minyak mentah adunan i yang diperoleh daripada aktiviti perlombongan $R(\text{MIN}, t, i)$ dan import $R(\text{IMP}, t, i)$ dan dihantar kepada logi penapis fasa pertama toping $P(\text{TOP}, t, i)$ dan dieksport $R(\text{EXP}, t, i)$. Indek t dan $i(\text{TOP}, t, i)$ masing masing mewakili masa dan pekali input kepada proses toping.

$$R(\text{MIN}, t, i) + R(\text{IMP}, t, i) \geq i(\text{TOP}, t, i)P(\text{TOP}, t, i) + R(\text{EXP}, t, i) \quad (1)$$

di mana $i \in \{\text{Adunan Tapis}\}$ dan $t \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$.

Proses toping menghasilkan enam produk utama iaitu disel (DSL), minyak bahan bakar (FOL), kerosin (RKZ), nafta (NPH), gas mentah (RGS) dan butimen (BIT). Hanya gas mentah dan nafta akan diproses selanjutnya dilogi penapis hidropenyesuaian untuk menghasilkan gas petroleum cecair (LPG) dan gasolin motor (MOG) masing masing. Persamaan berikut mewakili proses hidropenyesuaian iaitu daripada proses toping ke proses hidropenyesuaian.

$$o(\text{TOP}, t, j)P(\text{TOP}, t, i) + R(\text{IMP}, t, j) - R(\text{EXP}, t, j) \geq i(\text{HYD}, t, j)P(\text{HYD}, t, j) \quad (2)$$

di mana $j \in \{\text{RGS}, \text{NPH}\}$ dan $i \in \{\text{adunan minyak mentah}\}$.

Kuantiti produk utama yang diperoleh daripada proses toping bergantung kepada adunan minyak mentah yang digunakan dan diasaskan kepada faktor kandungan belerang dalam minyak mentah. Semakin tinggi kandungan belerang, semakin rendah pula kuantiti produk yang bermutu tinggi yang diperoleh daripada proses toping. Khususnya bagi gas mentah dan nafta kuantitinya ditentukan oleh pekali output $o(\text{TOP}, t, \text{RGS})$ dan $o(\text{TOP}, t, \text{NPH})$ masing masing. Output daripada proses toping iaitu nafta di tambah pula daripada sumber import dan ditolak untuk eksport akan diproses dilogi hidropenyesuaian manakala output bagi gas mentah tidak diimport atau dieksport. Output daripada proses tersebut bagi nafta akan menghasilkan gasolin motor manakala bagi gas mentah pula akan menghasilkan gas

petroleum cecair (LPG). Pemboleh ubah $P(\text{HYD}, t, i)$ mewakili proses hidropenyesuaian.

Komponen ketiga bagi imbalan bahan ialah pengagihan produk petroleum kepada sektor permintaan menerusi pemboleh ubah $SEL(t, i, j)$. Bagi produk yang tidak melalui proses hidropenyesuaian, pengagihan produk j kepada sektor k di buat menerusi persamaan berikut.

$$o(\text{TOP}, t, j)P(\text{TOP}, t, i) + R(\text{IMP}, t, j) \geq i(\text{SEL}, t, j)SEL(t, j, k) + R(\text{EXP}, t, j) \quad (3)$$

dimana $j \in (\text{DSL}, \text{FOL}, \text{RKZ}, \text{BIT})$ dan $k \in (\text{RES}, \text{IND}, \text{COM}, \text{NOE}, \text{ARG})$. Persamaan disebelah kiri mewakili kuantiti produk yang diperoleh dari proses toping dan import manakala persamaan disebelah kanan mewakili proses pengagihan ke sektor permintaan dan eksport. Bagi produk yang melalui proses hidropenyesuaian pula, persamaan yang mengagih produk kepada sektor permintaan diwakili oleh persamaan 4 seperti berikut:

$$o(\text{HYD}, t, j)P(\text{HYD}, t, j) + R(\text{IMP}, t, j) \geq i(\text{SEL}, t, j)SEL(t, j, k) + R(\text{EXP}, t, j) \quad (4)$$

di mana $j \in (\text{LPG}, \text{MOG})$ dan k ditakrif seperti persamaan 3. Tanpa penjelasan lanjut, persamaan 4 boleh di tafsir seperti persamaan 2 dan 3.

Proses pengagihan produk ke setiap sektor di buat menerusi proses permintaan $DEM(t, j, k)$ seperti pada persamaan 5 berikut:

$$i(\text{DEM}, t, j)DEM(t, j, k) \geq o(\text{SEL}, t, j)SEL(t, j, k) \quad (5)$$

di mana j dan k adalah set yang ditakrif seperti sebelumnya.

Kekangan kapasiti

Pada fasa ini pembentukan model, hanya kekangan logi penapis minyak mentah iaitu proses toping dan hidropenyesuaian diambilkira. Kekangan kekangan tersebut diwakili oleh masing masing persamaan 6 dan 7.

$$P(\text{TOP}, t) \leq \sum_i P(\text{TOP}, t, i) \quad (6)$$

$$P(\text{HYD}, t) \leq \sum_i P(\text{HYD}, t, i) \quad (7)$$

Bagi sesuatu masa t , penapisan minyak mentah adunan i atau proses hidropenyesuaian produk petroleum tertakluk kepada kapasiti logi.

Rezab Sumber Tenaga

Aktiviti perlombongan minyak mentah adunan i sepanjang masa t tertakluk kepada rezab sumber $R(\text{MIN}, i)$ tersebut yang ditaksir pada masa $t = 0$. Oleh kerana penaksiran sesuatu sumber minyak mentah berubah mengikut masa, perubahan tersebut akan dikemaskini dalam menentukan rezab sumber terkini. Persamaan yang mewakili rezab minyak mentah adunan i adalah seperti berikut:

$$\sum_t \sum_i R(\text{MIN}, t, i) \leq R(\text{MIN}, i)$$

Fungsi Objektif

Beberapa fungsi objektif boleh dibentuk untuk mengoptimalkan model tersebut. Pada masa ini fungsi yang digunakan ialah meminimumkan import antara masa bagi semua produk petroleum. Objektif tersebut adalah sejajar dengan Dasar Tenaga Negara khususnya Strategi Empat Bahan Bakar iaitu untuk mengurangkan kebergantungan yang tinggi terhadap penggunaan minyak mentah dan produk-produk petroleum terutama sekali bahan tenaga yang diimport. Di samping itu, strategi tersebut di harapkan dapat memangkinkan penggunaan sumber tempatan seperti gas asli dan tenaga boleh diperbaharu secara berkesan dalam memenuhi keperluan tenaga dalam negara. Khususnya fungsi berikut telah digunakan

$$\text{Min } \sum_t \sum_i R(\text{IMP}, t, i)$$

di mana $i \in$ (produk petroleum).

Berasaskan kepada carta aliran model dan ciri persamaan yang dibentuk, penjana matriks daripada perisian LINGO telah digunakan untuk menjana persamaan bagi model. Bagi satu adunan minyak mentah untuk pengoptimuman selama lima tahun ($t = 1, 2, 3, 4, 5$) sebanyak 205 pemboleh ubah dan 150 kekangan telah dijanakan dan memerlukan sebanyak 131 lelaran untuk mencapai penyelesaian optimum.

KEPUTUSAN EMPIRIK

Pada fasa kini pembentukan model, perbincangan akan difokuskan untuk memasti bahawa model tersebut menghasilkan keputusan yang sepatutnya. Keputusan tersebut mungkin tidak melambangkan keadaan sebenar

senario tenaga di Malaysia tetapi yang menarik minat kami ketika ini ialah melihat keupayaan model tersebut memberi keputusan yang tekal disamping menyelesaikan masalah “bang-bang” fenomena yang kerap wujud dalam pengoptimuman pemrograman linear. Perbincangan seterusnya akan menyentuh tiga aspek parameter model iaitu pola pengekstrakan minyak mentah, permintaan bagi produk petroleum dan import produk petroleum.

Pola Pengekstrakan Minyak Mentah

Tahap pengekstrakan minyak mentah adunan Tapis adalah diunjurkan pada paras 1034.6 Petajoule (PJ) atau 579600 tong per hari bagi setiap tempoh selama 5 tahun. Eksport minyak mentah tidak dibuat pada ketika ini. Satu pemerhatian perlu dibuat iaitu tahap pengekstrakan ini ditekang oleh kapasiti logi penapis toping. Sekiranya kapasiti tersebut di tingkat, model boleh meningkatkan tahap pengekstrakan minyak mentah dan juga melakukan eksport.

Permintaan Produk Petroleum

Permintaan produk petroleum diunjurkan seperti pada Jadual 1. Permintaan total agregat bagi produk petroleum pada $t = 1$ berada pada tahap 3241.14 PJ meningkat kepada 3604.89 PJ pada $t = 5$ dengan kenaikan tahunan sebanyak 2.1 % pada tempoh tersebut. Permintaan domestik bagi LPG pada $t = 1$ adalah diparas 165.71 PJ meningkat kepada 184.75 PJ pada $t = 5$. Penigkatan ini adalah setara dengan kenaikan tahunan sebanyak 1.8% setahun. Peratusan kenaikan permintaan LPG disektor komersial dan perindustrian adalah pada titik peratusan yang sama juga. Kenaikan sebanyak 3.5% sepanjang tempoh lima tahun direkodkan bagi permintaan gasolin motor disektor pengangkutan iaitu pada paras 1367.7 PJ pada $t = 1$ meningkat ke paras 1536.9 PJ pada $t = 5$. Satu arah aliran menurun dikesan bagi permintaan kerosin bagi sektor

JADUAL 1. Permintaan Produk Petroleum (PJ)

Produk Petroleum	Sektor	1	2	t 3	4	5
LPG	Domestik	165.7160	170.4760	175.2381	179.9991	184.7590
	Komersial	110.5078	113.6831	116.8576	120.0325	123.2078
	Perindustrian	49.7160	51.1450	52.5727	54.0010	55.4302
MOG	Pengangkutan	1367.786	1387.577	1437.368	1487.159	1536.950
RKZ	Domestik	2.456072	2.103463	1.751143	1.398852	1.046325
	Perindustrian	1.842390	1.578229	1.313779	1.049306	0.785057
DSL	Perindustrian	487.6079	501.0517	513.9359	527.0999	540.5657
	Pengangkutan	755.1155	775.9368	795.8872	816.2731	837.1288
	Pertanian	12.08699	11.69802	12.73962	13.06593	12.62055
FOL	Komersial	154.0857	157.4576	160.8210	164.1766	167.5560
	Perindustrian	101.1180	103.3134	105.5301	107.7401	109.9393
	Pengangkutan	2.408676	2.468993	2.516399	2.566417	2.627340
BIT	Bukan Tenaga	30.68821	31.08433	31.48046	31.87658	32.27271
Jumlah		3241.14	3309.57	3408.01	3506.43	3604.89

domestik dan perindustrian. Arah aliran yang menurun ini melambangkan senario tenaga Malaysia masa kini dimana pertumbuhan ekonomi yang makmur sepanjang beberapa tahun yang lepas menyebabkan rakyat berpindah kepada bahan api yang lebih bersih dan selesa seperti LPG dan gas asli. Permintaan bagi produk produk lain seperti disel, minyak bahan bakar dan bitumen boleh dirujuk pada Jadual 1. Permintaan produk produk tersebut diunjurkan meningkat sepanjang tempoh lima tahun pada kadar yang munasabah.

Jadual 2 menunjukkan campuran produk petroleum bagi tempoh lima tahun. Pada $t = 1$ bahagian campuran LPG ialah sebanyak 10% dan kekal pada paras tersebut pada $t = 5$. Satu kenaikan yang sederhana bagi bahagian gasolin motor ditemui iaitu daripada 42.2 % pada $t = 1$ kepada 42.6 % pada $t = 5$. Campuran disel pula berada pada paras 28.7 % pada $t = 1$ dan kekal pada paras tersebut sehingga pada $t = 5$. Campuran produk petroleum seperti pada Jadual 2 hampir menyamai campuran produk petroleum Malaysia kini.

JADUAL 2. Campuran Produk Petroleum (%)

Produk Petroleum	t				
	1	2	3	4	5
LPG	10.06	10.13	10.11	10.10	10.08
MOG	42.20	41.93	42.18	42.41	42.64
RKZ	0.13	0.11	0.09	0.07	0.05
DSL	38.72	38.94	38.81	38.68	38.57
FOL	7.95	7.95	7.89	7.83	7.77
BIT	0.94	0.94	0.92	0.91	0.89

Import Produk Petroleum

Disamping memperoleh unjuran bagi pola pengekstrakan minyak mentah dan permintaan produk petroleum, model turut juga mengunjur import produk petroleum seperti yang terdapat pada Jadual 3. Pada masa $t = 1$ import total bagi produk petroleum berada pada paras 2551.4 PJ meningkat kepada 3055.7 PJ pada $t = 5$. Kenaikan ini adalah pada kadar 6.0 % setahun. Import bagi disel, minyak bahan bakar, LPG dan gasolin motor menunjukkan arah aliran yang meningkat manakala import bagi produk-produk lain adalah pada paras sifar. Import disel berada pada paras 794.32 PJ pada $t = 1$ meningkat kepada 930.64 PJ pada $t = 5$. Kenaikan ini adalah setara dengan kadar pertumbuhan sebanyak 3.1% setahun. Kadar pertumbuhan yang sama juga diperoleh bagi import LPG tetapi import bagi gasolin motor meningkat daripada 1235.3 PJ pada $t = 1$ kepada 1541.43 PJ pada $t = 5$. Kenaikan ini mewakili pertumbuhan sebanyak 4.5 % setahun.

Berasaskan kepada perbincangan di atas, prestasi model tersebut dalam menganalisis sistem tenaga Malaysia menunjukkan satu prospek yang memberangsangkan. Pola pengekstrakan minyak mentah, permintaan dan import bagi produk petroleum menunjukkan arah aliran yang mantap dan fenomena

JADUAL 3. Import Produk Petroleum (PJ)

t	Produk Petroleum				Jumlah
	DSL	FOL	LPG	MOG	
1	794.3288	179.2518	342.5123	1235.311	2551.40
2	828.9375	184.8583	352.3527	1391.627	2757.77
3	862.0989	190.4854	362.1932	1441.549	2856.33
4	895.984	196.1225	180.8708	1491.514	2764.49
5	930.6497	201.7396	381.874	1541.435	3455.70

“bang-bang” yang ditemui pada pada versi awal model telah dapat diatasi (Ahmad et al. 2010) mungkin disebabkan oleh pemilihan fungsi objektif yang sesuai.

KESIMPULAN

Dirangsang oleh prestasi baik model tersebut, penyelidikan seterusnya akan difokuskan kepada penambahan beberapa adunan minyak mentah yang lain sama ada yang terdapat di Malaysia (adunan Bintulu) atau adunan yang diimport (adunan Dar) ke dalam sistem minyak mentah. Apabila keputusan memuaskan diperoleh, pelbagai jenis bahan tenaga seperti gas asli, arang batu, tenaga boleh diperbaharui (sistem hidro dan biojisim bagi sektor elektrik) perlu dimasukkan kedalam model tenaga bagi pembentukan akhir model. Seperti adanya keperluan, tenaga nuklear yang dijadualkan beroperasi pada tahun 2025 boleh dimasukkan kedalam sistem tenaga Malaysia dengan harapan satu model tenaga bersepadu dapat dibentuk untuk kegunaan perancangan dan analisis tenaga di Malaysia.

RUJUKAN

- Ahmad. 1984. Energy Models – A Review of Basic Structure. *Jurnal Ekonomi Malaysia* 10: 101-112.
- Ahmad. 2010. The Development of Integrated Malaysia Energy Model: A Reference Energy System {RES} Approach. Prosiding Persidangan Kebangsaan Ekonomi Malaysia (PERKEM) ke V, 15-17 Oct 2010, Jilid 2.
- Ahmad, Maznah Banu & Zulkifli M. N. 2010. Modeling of Malaysia's Crude Oil System: Some Preliminary Results, paper presented at Malaysia-Indonesia International Conference on Economics: Management and Accounting 2010, 25-26 Nov 2010, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- An Introduction to LEAP in Community for Energy, Environment and Development. <http://www.energycommunity.org>
- Gabriel S. A., Vikas S., Ribar D. M. 2000. Measuring the influence of Canadian Carbon Stabilization Program on Natural Gas Exports to the United States via a “bottom-up” Intertemporal Spatial Equilibrium Model. *Energy Economics* 22(5): 497-525.
- Kannan R., Strachan, N. 2009. Modelling the UK residential energy sector under long-term decarbonisation scenarios: Comparison between energy systems and sectoral modeling approaches. *Applied Energy* 86: 416-428.

- Kanudia A., Shukla P. R. 1998. Modelling of Uncertainties and Price Elastic Demands in Energy-Environment Planning for India. *OMEGA* 26: 409-423.
- Limmeechokchai B., 2007. Embedded energy and total greenhouse gas emission in final consumption within Thailand *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 11(2): 259-281.
- Loulou R., Kanudia A., Lavigne D., 1998. GHG Abatement in Central Canada with Inter-provincial Cooperation, *Energy Studies Review* 8(2): 120-129.
- National Working Group Malaysia. 1990. Integrated Energy Analysis for Malaysia using ENPEP Model: Final Draft. Kuala Lumpur: Kementeriann Tenaga Pos dan Telekomunikasi Malaysia.

The 2nd ASEAN Energy Demand Outlook. 2009. Japan: Institute of Energy Economics Japan.

Ahmad Mohd Yusof
School of Economics
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600, UKM, Bangi, Selangor.
ahmadf@ukm.my