

ANALISIS KEEFEKTIFAN BIAYA REDUKSI RISIKO REAKTOR DAYA JENIS PWR

Heni Susiati¹⁾

Abstrak

ANALISIS KEEFEKTIFAN BIAYA REDUKSI RISIKO REAKTOR DAYA JENIS PWR. Dalam bidang teknik manajemen risiko, analisis keefektifan biaya pada reduksi risiko, dikenal sebagai salah satu metode untuk mengevaluasi dan menentukan alokasi optimal sumber-sumber proteksi dan keselamatan dalam sistem industri skala besar. Makalah ini mempertimbangkan beberapa isu yang timbul berkaitan dengan analisis keefektifan biaya reduksi risiko pada Pembangkit Tenaga Nuklir (PLTN). Dua hal penting yang harus diperhatikan yaitu mencakup saling ketergantungan antara kriteria yang mencirikan masalah reduksi risiko dan hasil-hasil agregasi dan prosedur-prosedur penimbangan yang diperlukan ketika kemultidimensian kriteria secara eksplisit diperhitungkan. Pembahasan masalah-masalah ini dijelaskan dengan hasil studi-studi kasus pada reduksi risiko masyarakat dan risiko yang berhubungan dengan pekerjaan di Pembangkit Tenaga Nuklir jenis PWR di Perancis selama pengoperasian normal[1].

Abstract

COST-EFFECTIVENESS ANALYSIS OF RISK REDUCTION ON PWR NUCLEAR POWER PLANT. Within the field of risk management techniques, cost-effectiveness analysis of risk reduction is now recognized as an adequate method for evaluating and defining the optimal allocation of protection and safety resources within large industrial systems. The paper considers some of the issues that arise in connection with cost-effectiveness analysis of risk reduction at nuclear power stations. Particular attention is called to both the interdependence between criteria that needed when the multidimensionality of criteria is explicitly taken into account. The discussion of these problems is illustrated with results of case studies on both public and occupational risk reduction at French PWRs during normal operation.

¹⁾ Bidang Penerapan Sistem Energi, P2EN - BATAN

I. PENDAHULUAN

Aplikasi pertama dalam bidang sistem energi nuklir, yaitu analisis keefektifan biaya reduksi risiko, secara umum telah dikaitkan dengan suatu risiko yang spesifik. Studi-studi semacam ini telah dilakukan dengan tujuan membantu pengambilan keputusan (*decision maker*) untuk menentukan kegiatan-kegiatan yang berbiaya efektif, melalui alokasi yang sangat efektif pada sumber proteksi atau keselamatan tetap yang direncanakan.

Dengan adanya perkembangan studi-studi perkiraan risiko komparatif untuk sistem industri skala besar, akan timbul masalah keterkaitan berbagai tipe risiko dengan fasilitas tertentu. Di samping itu, juga terdapat masalah penentuan kriteria yang menyatukan multidimensi risiko untuk mencirikan tingkatan keselamatan suatu pembangkit [2,3]. Tantangan baru ini menarik perhatian saling ketergantungan yang melekat pada sistem-sistem yang cukup kompleks dan adanya kesulitan dalam melakukan analisis keefektifan biaya tersebut.

Masalah reduksi risiko pada PLTN bersifat multidimensi. Perhitungan berbagai kelompok populasi risiko dengan perbedaan klasikal antara masyarakat dan para pekerja, dapat dipertimbangkan kriteria lain yang meliputi: distribusi risiko (kelompok populasi daerah dan menyeluruh), waktu (generasi sekarang dan masa mendatang) atau geopolitik (dampak nasional dan internasional)[4].

Jelas bahwa aspek multidimensi masalah tersebut merupakan ciri utama untuk memperhitungkan metodologi perkiraan risiko. Alat dan model-model jauh berbeda menurut kelompok tertentu untuk masing-masing risiko yang diperkirakan, dan sebagai akibatnya, tipe dan pentingnya ketidakpastian menghasilkan gambaran risiko akhir. Masalah utama terletak pada saling ketergantungan struktural yang ada antara berbagai dimensi risiko.

Transfer risiko antara kelompok merupakan saling ketergantungan. Bahkan ketika dilakukan untuk sekelompok orang tertentu, perkiraan risiko tidak dapat melewati fenomena transfer risiko ini kecuali jika perkiraan tersebut menerima perbedaan besar dalam analisis keefektifan biaya. Juga ada interaksi pada masalah ekonomi tersebut karena biaya proteksi dan produksi tidak dapat selalu ditentukan secara terpisah.

Untuk memperhitungkan semua aspek dengan tujuan untuk menentukan tingkat risiko akhir yang dapat diterima untuk kelompok-kelompok yang dikenai, memperhitungkan batasan-batasan ekonomi, membuat reduksi risiko bukan suatu proses yang cukup mudah diselesaikan. Disamping kesulitan-kesulitan metodologi pada proses perkiraan, muncul pula masalah-masalah etis dan nilai-nilai sosial yang terlibat yang tidak dapat ditangani dengan mudah.

Makalah ini memperhatikan beberapa masalah yang muncul dalam kaitannya dengan masalah-masalah yang berhubungan dengan analisis keefektifan biaya kegiatan-kegiatan reduksi biaya pada PLTN. Pembahasan didasarkan pada sederetan studi yang berkaitan dengan risiko masyarakat dan risiko yang berhubungan dengan pekerjaan pada PLTN jenis PWR di Perancis pada kondisi normal.

Maksud studi ini bertujuan untuk

1. Menunjukkan kelayakan analisis keefektifan biaya reduksi risiko.
2. Menentukan jenis pendekatan yang lebih baik sehingga dapat membantu dalam proses meningkatkan tingkat proteksi pada pembangkit tenaga nuklir.

Bagian pertama makalah ini menunjukkan model-model untuk melakukan analisis dan juga beberapa hasil yang menunjukkan kelayakan pendekatan semacam ini. Bagian kedua memperhatikan masalah-masalah metodologi utama yang muncul ketika berhubungan dengan saling ketergantungan antara berbagai dimensi masalah reduksi risiko-biaya.

II. TEORI

Menurut prinsip *ALARA*, pendekatan rasional untuk proteksi radiasi memerlukan optimisasi biaya (*cost*) dan manfaat (*benefits*). Tingkatan proteksi akan menentukan minimal dari biaya proteksi dan efek-efek kesehatan yang mencakup penghitungan pembatasan dosis individual. Tetapi, dalam berbagai kasus, penerapan prinsip ini terdapat kesulitan dalam penilaian moneter pada efek-efek kesehatan.

Meskipun demikian, prinsip optimasi secara umum dipertimbangkan dalam proteksi radiasi, oleh karena itu pendekatan praktis perlu dipertimbangkan dalam penyelidikan selanjutnya. Utility dalam melakukan analisis keefektifan biaya, dalam hal ini mereka mengabaikan penyelesaian solusi teknis yang berkualitas rendah dalam kasus dimana terdapat beberapa metode reduksi dampak; sehingga pada kasus ini hanya mencakup dapat dibatasi pada penggunaan paling efisien yang mewakili dari sumber ekonomi yang terbatas

Pendekatan dari konsep sederhana: untuk masing-masing bagian alternatif dari kegiatan penentuan biaya (X) dan perkiraan perubahan menghasilkan pada tingkatan dampak kesehatan (Y). Penerapan metode yang berhasil karena itu memerlukan satu langkah khusus untuk biaya proteksi dan kerugian kesehatan, tetapi dua langkah tersebut tidak harus sama. Perbandingan alternatif terakhir yang dibuat sesuai oleh penggunaan sistem koordinat dengan biaya pada sumbu x dan indikator pada sumbu y (setelah alternatif dilaksanakan). Untuk setiap tingkat dampak residu alternatif paling ekonomis ditunjukkan dengan mudah dalam grafik, hal tersebut juga menyatakan alternatif yang paling efisien untuk masing-masing sumber yang sudah pasti. Alternatif efisien ini untuk pemakaian studi selanjutnya.

Untuk kriteria *ALARA* indikator yang layak adalah perbandingan $\Delta X / \Delta Y$. Pertimbangan urutan alternatif yang efisien, (i) merupakan bilangan dalam urutan pengurangan dampak residu. Jika ada batas maksimum biaya per unit efek-efek kesehatan dihindari, suatu alternatif yang efisien ke- i juga layak untuk pelaksanaan asalkan bahwa rasio perubahan marginal $(X_i - X_{i-1}) / (Y_i - Y_{i-1})$ tidak melampaui batas.

III. METODOLOGI

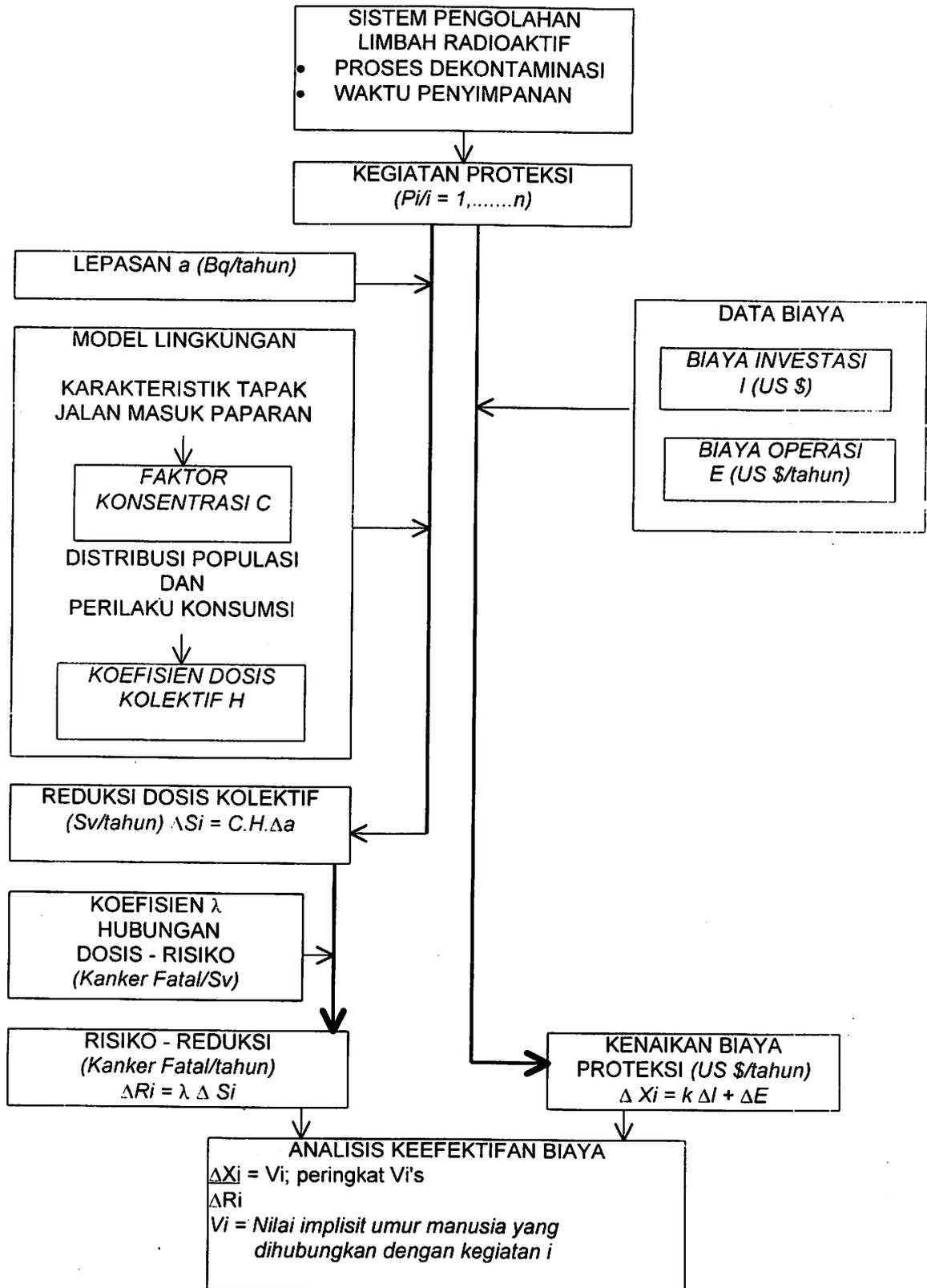
Pada dasarnya metodologi dalam beberapa kelompok pada risiko yang ada mempunyai prosedur yang sama dan terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut:

- a. melakukan analisis dan menentukan semua kegiatan yang mungkin untuk mengurangi tingkat risiko akhir,
- b. melakukan analisis terhadap biaya dan keefektifan dari setiap kegiatan proteksi,
- c. melakukan pemilihan di antara semua kegiatan yang dimungkinkan berbiaya efektif.

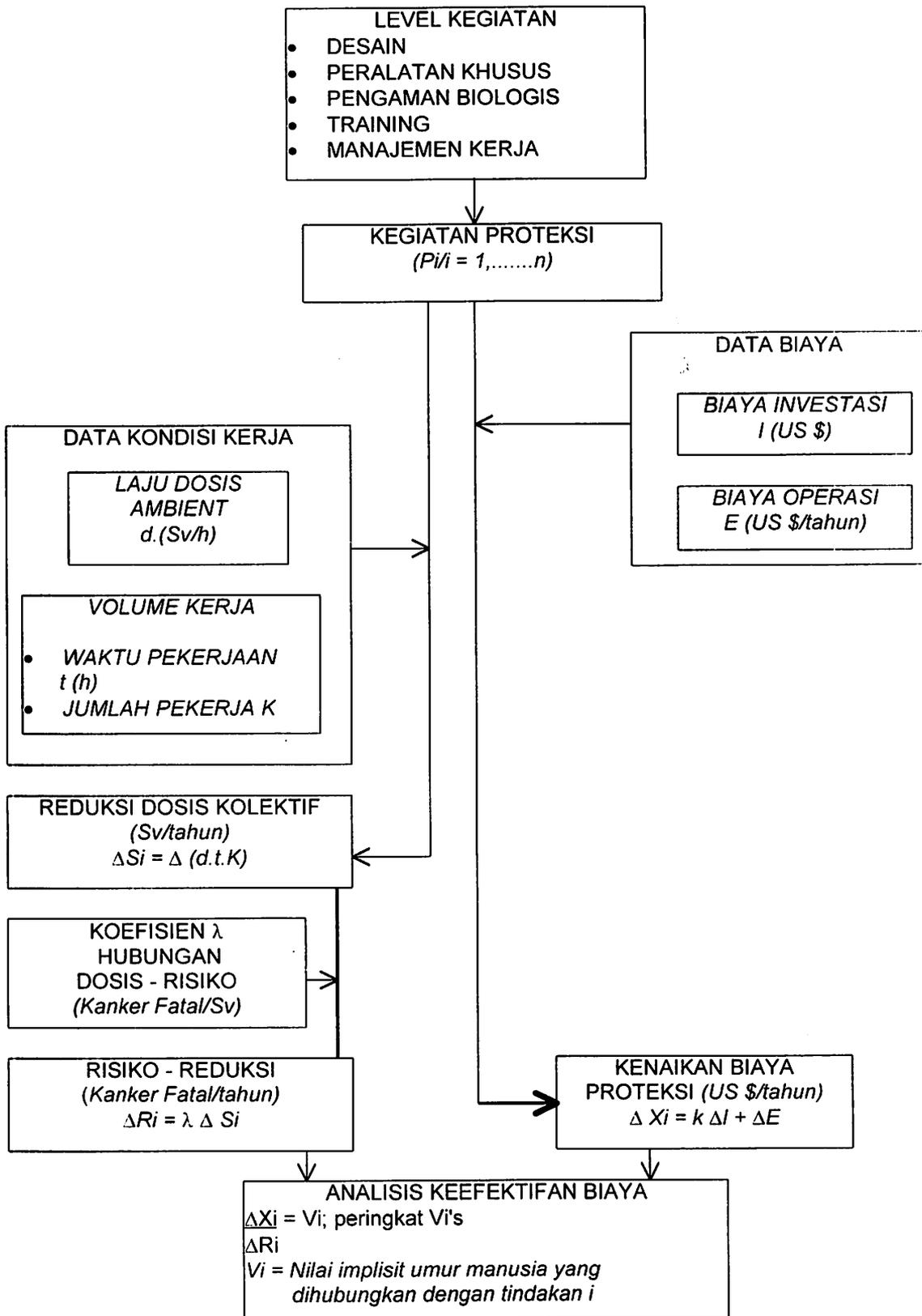
Selain dari kenyataan bahwa data yang cukup harus tersedia, masalah utama dalam evaluasi keefektifan berasal dari kenyataan bahwa pengukuran-pengukuran langsung tingkat paparan yang dihasilkan dari kegiatan reduksi risiko pada beberapa kasus tidak dapat dilakukan. Oleh karena itu hubungan kuantitatif antara sumber paparan dan tingkat risiko akhir sangat diperlukan. Proses pemodelan tersebut merupakan langkah dalam beberapa analisis keefektifan biaya dan ketidakpastian yang melekat pada proses ini tetap merupakan aspek penting pendekatan ini.

Gambar 1 dan 2 menjelaskan diagram model-model yang digunakan untuk analisis keefektifan biaya pada reduksi risiko masyarakat dan risiko sehubungan dengan pekerjaan yang terjadi pada kasus PLTN. Urutan mendasar dari model-model ini sama, penyimpangan utama yang terletak pada evaluasi paparan.

Di dalam pemodelan lingkungan masyarakat, dipertimbangkan karakteristik tapak instalansi, sehingga dimungkinkan evaluasi transfer spesifik tapak dan koefisien dosis. Koefisien-koefisien itu yang dihitung untuk unit lepasan tertentu kemudian dapat dipakai untuk beberapa spektrum lepasan yang berkaitan dengan kegiatan-kegiatan proteksi semacam ini yang mungkin dihadapi. Dalam kasus input data reduksi risiko sehubungan dengan pekerjaan dikaitkan dengan kondisi kerja (laju dosis ambient dan volume kerja). Didasarkan pada data yang ada pengaruh tipe kegiatan tertentu harus dievaluasi untuk tiap parameter yang menentukan pekerjaan tertentu.



Gambar 1. Model Analisis Keefektifan Biaya untuk Kegiatan Reduksi Risiko Masyarakat



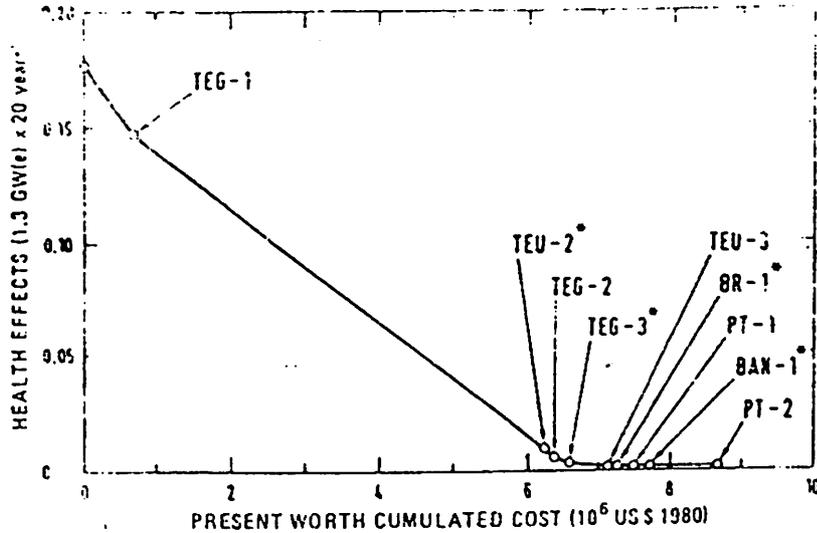
Gambar 2. Model Analisis Keefektifan Biaya untuk Kegiatan Reduksi Risiko Kesehatan berhubungan dengan Pekerjaan

IV. HASIL DAN ANALISIS

Konsep analisis keefektifan biaya untuk reduksi risiko membutuhkan perhitungan agak kompleks. Kompleksitas ini dimungkinkan terletak pada permasalahan pengumpulan data dasar untuk menerapkan model-model tersebut yang menjadi hambatan utama untuk melakukan suatu analisis yang diperlukan (secara khusus pada domain transfer-transfer lingkungan). Seperti untuk seleksi pilihan-pilihan berbiaya efektif, ada pemecahan berbeda menurut ada atau tidaknya anggaran atau batasan keselamatan. Jika tidak ada batasan semacam ini, diperlukan nilai-nilai referensi (dollar per orang atau dollar per efek kesehatan).

Model-model di atas telah diterapkan dalam kasus pembangkit PLTN di Perancis. Dengan memperhitungkan sifat-sifat desain dasar PLTN jenis PWR di Perancis, seperangkat kegiatan proteksi untuk mengurangi paparan masyarakat dan paparan sehubungan dengan pekerjaan telah dievaluasi, didasarkan pada data aktual sesuai dengan jenis pekerjaan, operasi pembangkit dan karakteristik tapak.

Gambar 3 menunjukkan kurva keefektifan biaya untuk sistem-sistem pengolahan limbah radioaktif yang tepat untuk 1300 MW(e) PWR[6]. Tiap kegiatan (tercatat TEG, TEU, dll.) ditentukan sesuai dengan jalan masuk efluent yang telah diberikan. Keefektifan tiap kegiatan dievaluasi dengan faktor dekontaminasi khusus dan waktu penyimpanan. Biaya proteksi untuk tiap kegiatan dievaluasi menurut biaya nilai kini (total biaya investasi dan biaya operasi tahunan yang terdiskon selama masa operasi pembangkit). Efek-efek kesehatan yang dihindari (kanker dan efek keturunan genetik) dievaluasi atas dasar hubungan banyaknya risiko $2,06 \times$ efek kesehatan per orang 10^{-2} yang direkomendasikan oleh ICRP. Semua kegiatan yang mungkin kemudian dilakukan perankingan menurut rasio keefektifan biaya dan kegiatan tak berbiaya efektif dihilangkan. Bentuk kurva menunjukkan bahwa pengeluaran proteksi mengikuti hukum keuntungan menyusut. Untuk tiap persoalan pada kurva sama dengan tingkat proteksi yang ditetapkan oleh kegiatan-kegiatan yang berhubungan dengan persoalan ini dan mereka yang sebelumnya pada kurva tersebut. Tiap level proteksi secara ekonomi efisien, apabila tidak dapat ditemukan seperangkat sistem proteksi yang lebih efektif untuk biaya kumulatif yang sama ataupun tingkat risiko akhir yang lebih baik.



Gambar 3. Analisis Keefektifan Biaya dari Reduksi Risiko Masyarakat untuk 1,3 GW(e) PWR.

Tabel 1 memberikan hasil-hasil analisis beberapa kegiatan reduksi risiko untuk paparan yang berhubungan dengan pekerjaan di unit-unit PLTN PWR Perancis. Kegiatan-kegiatan terseleksi diterapkan pada pembangkit beroperasi pertama pada program Perancis dan kemudian diintegrasikan pada level desain untuk unit-unit selanjutnya. Untuk setiap kegiatan biaya proteksi tahunan dan reduksi dosis ekuivalen kolektif telah dievaluasi.

Tabel 1. Analisis Keefektifan Biaya dari Reduksi Risiko yang berhubungan dengan Pekerjaan

Kegiatan Proteksi	Reduksi Dosis Kolektif (<i>man-mSv/tahun</i>)	Peningkatan Biaya Proteksi (1.000 \$/tahun)
Perisai Biologi		
01 demineraliser	1,7	0,3
- ruang katup remote kontrol	1	0,1
02 tabung penanganan filter	43	1,0
- Pb : ketebalan extra 3 cm		
Desain		
03 Alat kontrol remote	21	8,2
04 Pompa primer	22	85,0
05 Elevator alat reaktor	3	0,8
Alat-alat khusus		
06 Lubang bejana Reaktor	263	41,0
07 Dekontaminasi alat reaktor	48	21,8
08 Lubang <i>Manhole</i> generator uap	48	20,0
09 Penutup pipa primer generator uap	38	6,5
10 Mesin tes arus Eddy	38	9,7
11 Pembersih flange bejana reaktor		
- sisi bejana	36	1,3
- sisi penutup	28	1,2
Mock-up training		
12 Kolam air generator uap	25	7,3

Kedua contoh analisis tersebut, di samping menunjukkan kelayakan pendekatan reduksi risiko-biaya, juga memberikan analisis nilai-nilai implisit man-sievert (efek kesehatan) yang dapat digunakan sebagai referensi untuk pengambilan keputusan saat ini atau saat mendatang. Contoh-contoh yang ditunjukkan terkait dengan dimensi risiko tertentu dan perhitungan telah dilakukan dengan asumsi saling ketergantungan sempurna dengan dimensi-dimensi risiko lain. Dalam cara yang sama, biaya peralatan proteksi telah diperkirakan dengan asumsi bahwa penerapan peralatan proteksi dalam pembangkit PLTN tidak berhubungan dengan kondisi operasi pembangkit. Asumsi-asumsi demikian dengan mudah dapat dibuat dalam keadaan-keadaan tertentu sebagai penyederhanaan masalah tanpa terlalu banyak mempengaruhi hasil akhir. Pada umumnya pendekatan penyederhanaan ini tidak sesuai lagi.

IV.1 Saling Ketergantungan Biaya Proteksi Produksi

Masalah proteksi masyarakat terhadap lepasan efluent aliran radioaktif, sebagian kegiatan yang menyebabkan reduksi kolektif selalu memerlukan kenaikan pengeluaran proteksi melalui biaya investasi dan operasi. Hal ini berbeda untuk kegiatan proteksi tertentu dalam bidang proteksi radiasi kerja, yang dapat menghasilkan penghematan biaya operasi.

Sebagian besar pekerjaan di tempat-tempat pembangkit PLTN dilakukan pada komponen-komponen atau di lokasi dimana terdapat aturan batas-batas dosis individual cenderung menyebabkan beberapa bentuk organisasi pekerjaan (persiapan tugas, banyak kelompok intervensi multiple, dan proteksi pekerja) kurang produktif. Selain itu, beberapa tugas yang dilakukan selama pengeluaran unit terletak pada jalur kritis dan oleh karena itu secara langsung mempengaruhi lama pengeluaran. Tugas-tugas tersebut menghasilkan penurunan tersedianya unit dan keperluan yang berkaitan dengan sumber energi pengganti/ cadangan. Pada kondisi demikian beberapa kegiatan proteksi yang bertujuan mengurangi kecepatan atau waktu kerja sehingga akan meningkatkan biaya proteksi tapi mungkin juga pada umumnya mengurangi biaya operasi pembangkit. Tabel 2 memberikan kegiatan proteksi yang ditunjukkan pada bagian sebelumnya biaya operasi yang dicadangkan. Kegiatan-kegiatan yang mempengaruhi jalur kritis pengeluaran penambahan bahan bakar dapat menyebabkan penghematan biaya yang berarti untuk operator pembangkit. Bagaimanapun, penghematan pada biaya-biaya buruh tetap cukup marginal. Secara global total biaya operasi yang dicadangkan lebih besar daripada total biaya proteksi untuk kegiatan-kegiatan proteksi khusus ini. Hal ini dengan jelas menggambarkan kenyataan bahwa proteksi yang lebih baik tidak harus berlawanan dengan produktivitas.

Tabel 2. Biaya Ketergantungan Proteksi Produksi untuk Kegiatan Proteksi dalam PWR.

Kegiatan Proteksi	Peningkatan Biaya Proteksi (1.000 \$/tahun)	Reduksi Biaya Produksi (1.000 \$/tahun)	
		Fasilitas	Tenaga Kerja
Perisai Biologi			
01 demineraliser	0,3	-	-
- ruang katup remote kontrol	0,1	-	-
- ruang katup remote kontrol			
02 tabung penanganan filter	1,0	-	-
- Pb : ketebalan extra 3 cm			
Desain			
03 Alat kontrol remote	8,2	-	-
04 Pompa primer	85,0	100	0,5
05 Elevator alat reaktor	0,8	-	-
Alat-alat khusus			
06 Lubang bejana Reaktor	41,0		3,5
07 Dekontaminasi alat reaktor	21,8		0,8
08 Lubang <i>Manhole</i> generator uap	20,0		1,0
09 Penutup pipa primer generator uap	6,5		-
10 Mesin tes arus Eddy	9,7		-
11 Pembersih flange bejana reaktor			
- sisi bejana	1,3		0,3
- sisi penutup	1,2		0,3
Mock-up training			
12 Kolam air generator uap	7,3		7,3

IV.2 Transfer Risiko

Masalah kontrol efluent zat radioaktif merupakan contoh baik dari saling ketergantungan antar kelompok pada risiko. Tambahan dari suatu sistem pengolahan limbah radioaktif di PLTN jelas akan mengurangi risiko masyarakat pada tingkat/ jangkauan tertentu, tapi tambahan tersebut juga:

1. meningkatkan risiko paparan untuk mereka yang menjalankan sistem
2. meningkatkan volume limbah padat yang diproduksi oleh pembangkit sehingga efek-efek tertunda dari limbah-limbah tersebut pada generasi mendatang.

Efek yang tidak langsung juga dapat ditentukan seperti modifikasi distribusi penebaran individual (kelompok kritis atau penduduk umum) atau risiko-risiko biasa yang dihasilkan dikarenakan konstruksi sistem pengolahan. Tiap dimensi risiko dapat dilakukan secara terpisah, tapi mempertimbangkan tingkat proteksi yang tinggi yang sudah dicapai dalam industri nuklir suatu titik persoalan dicapai dimana ukuran proteksi menunjukkan tingkat efisiensi yang sangat rendah dan aspek transfer risiko tidak lagi dapat diabaikan. Tabel 3 menunjukkan contoh dosis kolektif sehubungan dengan pekerjaan yang berkaitan dengan sistem pengolahan yang berbeda aliran cair 1300 MW(e) PWR. Angka-angka tersebut menunjukkan bahwa reduksi

maksimal paparan kolektif masyarakat melibatkan kenaikan paparan berkaitan dengan pekerjaan operasi dan perawatan sistem-sistem pengolahan limbah radioaktif. Penyatuan/integrasi transfer risiko ini dalam proses analisis efektifitas biaya tidak sejelas seperti yang akan nampak bersamaan. Apakah *man-sievert* dihindari untuk masyarakat sama dengan *man-sievert* terhindari untuk para pekerja yang mengoperasikan sistem? Pada satu sisi *man-sievert* adalah produk dari beberapa ratus orang yang menerima per dosis *caput* tahunan dalam tingkat sievert mikro dan pada sisi lain puluhan pekerja yang menerima antara 10 sampai 20 millie-sievert per tahun. Bagaimana seseorang dapat mengetahui jenis-jenis risiko yang berbeda? Kenyataan pilihan dari sistem pilihan dari sistem berbiaya sangat efektif pada masalah khusus ini akan sangat tergantung pada berat relatif yang ditempatkan pada kedua sisiimbangan.

Tabel 3. Transfer Risiko antara Masyarakat dan Pekerja untuk Opsi Pengolahan Limbah Radioaktif Cair di 1,3 GW(e) PWR.

No	Pilihan	Biaya Proteksi (10 ⁶ \$)	Dosis Kolektif Residu (orang-Sv)	
			Masyarakat	Pekerja
1	(tanpa pengolahan)	0	8	0
2	5 hari penyimpanan	1,9	5,8	1
3	5 hari penyimpanan + penguapan panas	3,7	0,1	4
4	5 hari penyimpanan + penguapan panas + demineralisasi	4,1	0,01	2

IV.3 Trade-offs dan Modal

Penjelasan terakhir memperkenalkan masalah umum dalam menimbang kriteria risiko. Dalam bidang manajemen risiko pada pembangkit tenaga nuklir dan juga untuk fasilitas lain daur bahan bakar nuklir dan bahan di industri non nuklir, secara umum dilakukan dengan membagi penduduk berisiko ke dalam kelompok pekerja dan kelompok masyarakat umum. Untuk menangani kedua masalah tersebut secara terpisah dilakukan dengan mengasumsikan saling ketergantungan mereka dan pengaturan keseimbangan antara risiko yang dianggap aman atau tidak aman untuk tiap kelompok orang.

Di antara masalah-masalah modal (*equity*) yang berhubungan dengan manajemen risiko pembangkit PLTN, dilema-dilema yang timbul karena efek-efek buruk dari pembuangan limbah tingkat tinggi merupakan masalah yang paling akut, yaitu bagaimana untuk melindungi generasi mendatang tanpa menghalangi masalah-masalah sekarang dengan investasi-investasi besar, dengan menggunakan risiko-risiko mendatang pendekatan reduksi klasik telah dinyatakan sebagai suatu jawaban yang mungkin. Untuk menggambarkan persoalan pokok ini mari kita mengambil contoh efek-efek buruk untuk masyarakat yang mengikuti pembuangan

bawah tanah limbah-limbah bahan bakar PWR berkait dengan operasi 20 tahun satu unit GW(e)[6].

Berdasarkan pada model transfer klasik dan mengasumsikan distribusi dan kebiasaan konsumsi penduduk yang konstan dosis kolektif terpadu sampai tak terbatas sekitar 500 *man-sievert* (*man-sievert* untuk 1500 tahun pertama, 1,1 *man-sievert* dari 1500 s/d 10.000 tahun, dan 512 *man-sievert* dari 10.000 s/d tidak terbatas). Misalnya, dengan menggunakan angka rendah demikian tingkat potongan 1% menghasilkan "dosis kolektif terkurangi/rendah" beberapa *mikro-sievert* untuk semua generasi mendatang yang terkena akibat dari limbah tersebut. Validitas model-model perkiraan setidaknya menjadi meragukan ketika menyangkut pengaruh-pengaruh jauh di masa mendatang selama transfer lingkungan dan parameter penduduk diperhatikan. Juga sama besarnya penggunaan teknis reduksi, yang semula dikembangkan pada bidang ekonomi untuk penaksiran pilihan investasi. Dihadapan dengan kelemahan semacam ini seseorang dapat berpikir menunggu sampai ada metodologi yang lebih baik dan dalam kaitan ini ada kebutuhan besar untuk mengembangkan peralatan yang cukup dengan suatu konsensus yang dapat dicapai. Sedangkan kebutuhan untuk bertindak akan mendorong para pengambil keputusan, jika tidak penganalisa, ke dalam *trade-off*.

Dalam prakteknya masalah modal harus dipertimbangkan dimana saja situasi membenarkan dalam mempertimbangkan sub-group berbeda-beda pada penduduk yang terkena. Aspek dan masalah *trade-off* ini terkait tidak menerima sampai perhatian yang sangat cepat walaupun beberapa makalah terbaru menyatakan bahwa titik balik telah dicapai. Beberapa proposal telah dibuat untuk mempertimbangkan distribusi dosis individual atau risiko jangka panjang, tapi sejauh ini tidak ada konsensus diantara para pelaksana.

V. KESIMPULAN

Analisis keefektifan biaya dari reduksi risiko yang dibahas di sini menunjukkan kelayakan dengan kondisi tertentu di dalam suatu pendekatan pada risiko masyarakat dan risiko sehubungan dengan pekerjaan PLTN dan masalah-masalah utama yang timbul.

Secara ringkas masih ada masalah penting yang harus diperhatikan, antara lain yang menyangkut metodologi yang praktis. Hal ini kaitannya dengan pengumpulan data yang cukup untuk perbaikan dalam melakukan analisis terhadap biaya dan risiko, dan memperlakukan ketidaktentuan yang cukup besar yang sering terjadi dalam banyak situasi.

Pada kenyataannya, sejumlah praktisi di beberapa negara terdapat perbedaan pendapat dalam melakukan analisis terhadap biaya reduksi dan ada kaitannya dengan keperluan peningkatan pengembangan data base dan metodologi yang biasa digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

1. HUBERT P., Comparisons of The Health Effects of Energy Systems: An Assesment for France, in A Global View of Energy, Lexington Books DC Health and Company , 1982.
2. LOMBARD J., FAGNANI F., Equity Aspects of Risk Management: Trade-Offs Between Public and Occupational Hazards in The Nuclear Industry, Nuclear Safety, Volume 22, 1981.
3. LOCHARD J., MACCIA C., PAGES P. Cost-Effectiveness Considerations in Reducing Occupational Radiation Exposure in Nuclear Power Plants, 1983.
4. International and Benefits of Energy Systems, Risk and Benefits of Energy Systems. Vienna, 1984.
5. DJAMIN, Zulkarnain, Perencanaan dan Analisis Proyek, Universitas Indonesia, 1984.