



# UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA

## Fakultas Teknik

### **SURAT TUGAS**

No. 39-B/UKI.F6.D/2020

#### **FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA TENTANG**

#### **TUGAS MELAKUKAN KEGIATAN PENELITIAN**

Dalam rangka menyelenggarakan kegiatan Penelitian Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia, Jakarta maka dengan ini Pimpinan Fakultas :

Nama	: Ir. Galuh Widati, MSc.
NIP/NIDN	: 03.261261.03
Pangkat/Golongan	: Lektor/IVA
Jabatan Fungsional	: Dekan
Unit Kerja	: Fakultas Teknik UKI

Berdasarkan Surat Keputusan Rektor Universitas Kristen Indonesia Nomor : 49/SK.REK/08.2014 tentang pengangkatan Ir. Galuh Widati, MSc. Sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia masa kerja 2014-2018 menugaskan:

Nama	: Prof. Atmonobudi Soebagio, Ph.D
NIP/NIDN	: 0312105002
Pangkat/Golongan /Ruang	: Guru Besar / IV-B
Unit Kerja	: Fakultas Teknik UKI

Untuk melakukan Penelitian dengan judul:

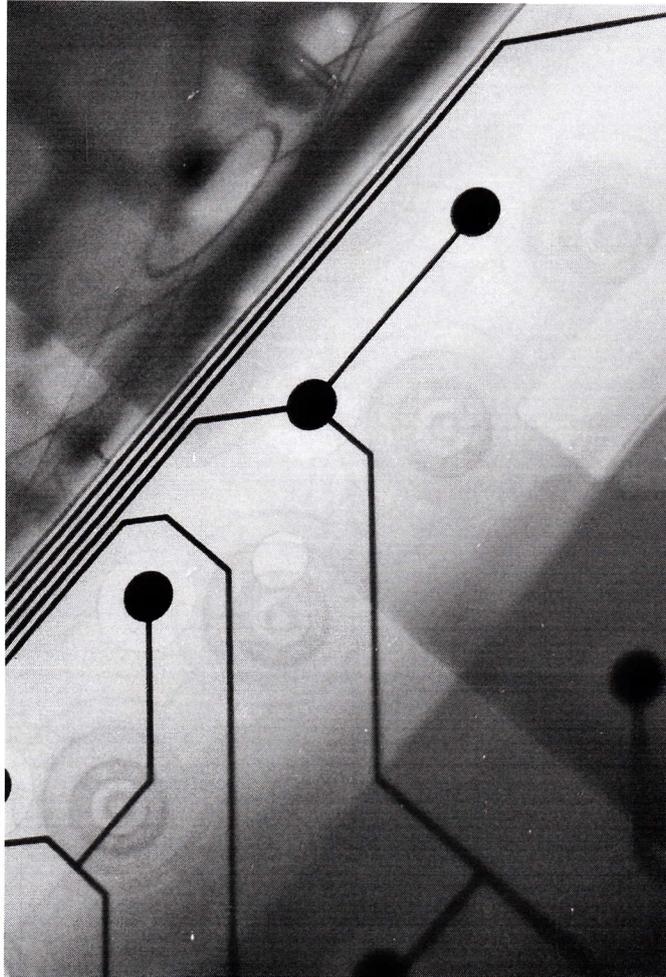
"Melakukan Kegiatan Pustaka dalam Penyusun Kurikulum Teknik Elektro S1 – FT UKI"

Pada Semester Genap Tahun Akademik 2019/2020.



Jakarta, 29 Januari  
2020 Dekan,

Ir. Galuh Widati, MSc



# Beberapa butir usulan perubahan RUU Ketenaga- nukliran

Pascasarjana Universitas Kristen  
Indonesia – Jakarta

<http://pascasarjana.uki.ac.id>

---

Prof. Atmonobudi Soebagio,  
PhD.

Prof. Liek Wilardjo, PhD.

Ir. V. Christianto

# Pendahuluan

Ditemukannya limbah nuklir di perumahan 'Batan Indah' telah mengejutkan masyarakat Jabodetabek, khususnya mereka yg tinggal di kawasan Serpong, Pamulang, Gunung Sindur, dan Tangerang Selatan.

Entah apapun alasannya, telah ditemukan limbah radioaktif yg berada di kawasan perumahan yg diperkirakan sudah bertahun-tahun terkubur disana. Sangat sulit masuk ke akal kita ketika Perumahan Batan Indah yang dihuni oleh para peneliti dan staf Batan justru yang pertama terpapar. Mereka tentunya lebih mengetahui dan tanggap dalam hal risiko paparan radiasi nuklir terhadap tubuh manusia. Peristiwa tersebut sempat menjadi berita nasional yang diberitakan oleh sejumlah stasiun TV nasional serta media massa; baik cetak maupun online.

Pada tanggal 27 Juni 1954, stasiun tenaga nuklir pertama di dunia yang menghasilkan listrik untuk jaringan tenaga listrik, adalah PLTN Obninsk, mulai beroperasi di Obninsk di Uni Soviet. Pembangkit listrik skala penuh pertama di dunia, Calder Hall di Inggris, dibuka pada 17 Oktober 1956. Sesudah itu, sejumlah PLTN di AS dan Eropa dibangun dan mulai mengalami tragedi akibat meledaknya reaktor mereka. Dampak radiasinya cukup luas bahkan sampai masuk ke negara lain karena terbawa angin. Sebaran partikel radioaktif akibat hancurnya salah satu unit reaktor PLTN Chernobyl (Ukraina) pada tanggal 26 April 1986, terdeteksi hingga di Eropa Barat akibat terbawa angin<sup>1</sup>. Hancurnya reaktor tersebut menyebabkan penderitaan masyarakat kota Pripyat di dekat PLTN tersebut. Radiasi nuklir menjadi penyebab utama penyakit kanker, cacat genetika serta kerusakan lingkungan yang sangat luas. Keberadaan PLTN di sebuah negara juga tidak jarang memanaskan situasi geopolitik antar negara. Sampai saat ini masalah dan kendala terbesar dosis radiasi tertinggi dialami oleh pekerja darurat dan personel di lokasi. Belakangan, lebih dari 600.000 orang tercatat sebagai petugas darurat dan pekerja pemulihan ('likuidator'). Meskipun beberapa diantara mereka terpapar radiasi dosis tinggi selama pekerjaan mereka, banyak dari mereka dan mayoritas penduduk daerah yang disebut sebagai 'terkontaminasi' di Belarus, Rusia dan Ukraina (lebih dari 5 juta orang) terpapar dosis radiasi seluruh tubuh yang relatif rendah, dan tidak jauh lebih tinggi daripada dosis karena alami<sup>2</sup>.

Masalah terbesar yang dihadapi negara-negara pengguna PLTN adalah dalam hal penyimpanan limbahnya yang masih bersifat radioaktif selama ratusan tahun. Sebagian besar dipendam di lubang bekas tambang yang ratusan meter dalamnya. Namun begitu, tidak tertutup

kemungkinan terkontaminasinya air tanah oleh limbah tersebut, dan dapat keluar kembali ke permukaan tanah lewat pompa-pompa air sumur dalam.

Pascasarjana Universitas Kristem Indonesia memandang perlu untuk mendiskusikan kasus yang sangat serius ini dengan mengundang para ahli nuklir dan pemerhati masalah bahaya radiasi nuklir. Disamping itu Pascasarjana UKI merencanakan akan menerbitkan tulisan para pembicara ke dalam sebuah bookchapter, dan menyusun draft Perubahan UU Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, sebagai usulan bagi penyusunan RUU Cipta Kerja. Seperti diketahui, Presiden Joko Widodo telah mengundang partisipasi masyarakat dan perguruan tinggi untuk turut memberikan pemikirannya sebagai masukan bagi penyusunan RUU tersebut.

Jakarta, 24 Maret 2020

Prof. Atmonobudi Soebagio, PhD.

GB Pascasarjana Universitas Kristen Indonesia

# Daftar Isi

Pendahuluan

2

Daftar Isi

4

Usulan 1: Prof. Atmonobudi Soebagio Ph.D.

5

Usulan 2: Prof. Liek Wilardjo Ph.D.

16

Usulan 3: Ir. Victor Christianto

20

Usulan 1: Prof. Atmonobudi Soebagio Ph.D.

## **Perlindungan dan Mitigasi Radiasi Nuklir pada Manusia – Sebagai Masukan bagi RUU Cipta Kerja, khususnya tentang Usulan Perubahan UU Nomor 10/1997**

**Atmonobudi Soebagio\***

\*Guru Besar Energi Listrik dan Energi Terbarukan

**Universitas Kristen Indonesia**

### I. LINI MASA TEKNOLOGI NUKLIR

#### **a. Awal Pembuatan Bom Nuklir.**

Penemuan reaksi fisi nuklir terjadi ketika Perang Dunia II sudah mendekati. Banyak penelitian awal dilakukan di pihak Nazi Jerman, meskipun saat itu banyak ilmuwan Eropa melarikan diri untuk menetap di Amerika Serikat, Inggris, dan Kanada. Salah satunya adalah *Leo Szilard*, seorang fisikawan Hongaria yang energetik dan memahami sepenuhnya potensi militer dari bom fisi. *Szilard* mendesak temannya, *Albert Einstein*, untuk mengirim surat kepada Presiden *Roosevelt* yang menguraikan potensi pengembangan bom fisi. Meskipun *Einstein* kemudian menyesalinya, suratnya memainkan peran penting dalam menggerakkan pemerintahan *Roosevelt* untuk memulai proyek pemerintah besar-besaran untuk membangun bom atom. Ratusan ilmuwan top dunia berkumpul secara sangat rahasia tentang kemungkinan upaya ilmiah dan teknik terbesar sepanjang masa: *Proyek Manhattan*. Hasil dari proyek tersebut adalah bom nuklir yang kemudian dijatuhkan di kota Hiroshima dan Nagasaki, sehingga mengakhiri Perang Dunia II. [4]

Uranium sebagai bahan bakar dari proses reaksi fisi adalah tergolong jenis logam tanah jarang, sebagaimana emas, perak, dan air raksa. Konsentrasinya di bumi sebesar

2,8 ppm (parts per million), atau 0,00028%, dan berada di daerah batu-batuan. Meskipun konsentrasinya lebih besar daripada emas dan perak, penambangannya sangat merusak lingkungan karena dilakukan dengan cara menghancurkan batu-batuan tersebut hingga menjadi bubuk; mengingat kebutuhan uranium utk menggerakkan ratusan PLTN sangat besar. Mayoritas biji uranium ditambang di Kanada, Australia, Namibia, dan Khazakhstan.

#### **b. Awal Penggunaan Energi Nuklir sebagai PLTN.**

Tahun 1950-an telah memperlihatkan awal penetrasi tenaga nuklir ke pasar listrik. Bersamaan dengan itu muncul periode antusiasme yang besar dalam penelitian dan pengembangan intensif, dengan harapan dapat menyediakan dunia dengan sumber energi alternatif yang murah dan praktis tidak pernah habis. Penggunaan atom secara damai menjadi simbol kemajuan dan bermanfaat bagi kemanusiaan, dan kerja sama antar negara menjadi kenyataan dalam skala yang belum pernah terjadi sebelumnya. Ilmu pengetahuan, prestasi ilmiah, dan ilmuwan terpandang disukai oleh media dan sangat dihormati oleh publik. Pada tahun 1960, ada 17 reaktor fisi nuklir yang beroperasi dengan total kapasitas listrik 1.200 megawatt (MWe) di empat negara, yaitu: Perancis, Uni Soviet, Inggris, dan Amerika Serikat. Program tenaga nuklir juga telah diluncurkan di enam negara lain [4].

Selama 1960-an tenaga nuklir mencapai status sumber energi yang terbukti secara teknis dan layak secara komersial. Pada pertengahan decade tersebut, utilitas tenaga listrik menempatkan pesanan mereka untuk pembangkit nuklir secara rutin, dan pada tahun 1970 sudah ada 90 unit nuklir yang beroperasi di 15 negara dengan total kapasitas 16.500 MWe. Kecenderungan memperluas penggunaan tenaga nuklir terus berlanjut sepanjang tahun 1970-an. Rerata, konstruksi dimulai sekitar 25 hingga 30 unit nuklir baru setiap tahun. Pada tahun 1980 ada 253 pembangkit listrik tenaga nuklir fisi yang beroperasi dengan total kapasitas 135.000 MWe di 22 negara. Pada tahun yang sama, sekitar 230 unit dengan kapasitas lebih dari 200.000 MWe sedang dibangun [3].

Guncangan harga minyak pada tahun 1970-anlah yang memberi dorongan besar pada promosi dan pengembangan lebih lanjut tenaga nuklir. Perencana energi mulai memberikan peran yang jauh lebih besar untuk tenaga nuklir dalam pencarian mereka sebagai pengganti yang cocok bagi BBM dan untuk memastikan pasokan energi listrik yang lebih beragam untuk dunia. Namun, rencana ini seringkali tidak cukup realistis; karena adanya faktor-faktor lain juga cenderung mempengaruhi perkembangan tenaga nuklir [3].

Naiknya harga minyak membuat kenaikan harga komoditas. Akibatnya, biaya energi dari semua sumber, termasuk pembangkit nuklir, meningkat sangat signifikan. Ekonomi melambat di mana-mana, sehingga pertumbuhan permintaan energi dan listrik menurun. Hal tersebut disadari oleh negara-negara maju karena kebutuhan energinya menjadi lebih rendah dari yang direncanakan. Langkah-langkah konservasi energi semakin intensif di negara-negara industri. Kondisi ini berpengaruh pada tingkat pertumbuhan permintaan listrik secara keseluruhan. Dengan akumulasi pengalaman dalam membangun dan mengoperasikan pembangkit nuklir pada skala industri-komersial, berbagai masalah teknologi muncul di prototipe awal maupun eksperimen unit tenaga nuklir [3].

### **c. Kekhawatiran Dunia terhadap PLTN karena Risiko Radiasi Nuklir.**

Jumlah PLTN di dunia pada Mei 2018 adalah 450 unit dan tersebar di 30 negara dengan kapasitas total 393.843 MWe. Amerika Serikat memiliki 99 unit, disusul oleh Perancis (58), Jepang (42), RRC (39), Rusia (35), Rep. of Korea (24), India (22), dan sisanya berada di 26 negara lainnya. Namun demikian, beberapa negara bahkan telah mengakhiri pengoprasian PLTNnya, yaitu: Amerika Serikat (34), Inggris (30), Jerman (29), Jepang (18), Perancis (12), Kanada (6), Swedia (5), Ukraina (4), Bulgaria (4).

Sebagian besar reaktor nuklir AS memiliki lisensi ijin operasi selama 60 tahun, dan akan berakhir antara 2030 dan 2050. Namun, banyak reaktor telah pensiun secara dini. Namun demikian, beberapa negara bahkan telah mengakhiri pengoperasian PLTNnya,

yaitu: Amerika Serikat (34), Inggris (30), Jerman (29), Jepang (18), Perancis (12), Kanada (6), Swedia (5), Ukraina (4), Bulgaria (4)<sup>1</sup>. Tutupnya reaktor tersebut karena berbagai alasan, termasuk *manajemen yang buruk, perbaikan yang mahal, masalah keselamatan dan kinerja, restrukturisasi industri listrik, dan faktor pasar*. Baru-baru ini harga gas alam yang murah dan pada tingkat yang lebih rendah, teknologi energi terbarukan menawarkan harga yang semakin terjangkau dalam memenuhi permintaan untuk listrik. Meningkatnya biaya operasi PLTN juga berkontribusi pada penutupan awal dan menempatkan PLTN baru dalam risiko pensiun dini (EIA 2018a; Jenkins 2018; Haratyk 2017) [2].

Selama masa satu generasi ada 4 kecelakaan radiasi besar dengan kontaminasi area di berbagai negara: (a) di reaktor nuklir "Mayak", USSR, 1957; (b) di pembangkit listrik tenaga nuklir (NPS) "Three Miles Island", AS, 1979; (c) di PLTN "Chernobyl", USSR, 1986; (d) di PLTN "Fukushima", Jepang, 2011. Kecelakaan nuklir Fukushima-Daiichi (Maret, 2011) terjadi selama persiapan peringatan 25 tahun bencana Chernobyl.

Pada tanggal 26 April 1986, sebuah ledakan dan kebakaran di PLTN Chernobyl di Ukraina menyebabkan pelepasan radioaktif terbesar yang tidak terkendali dalam sejarah industri nuklir sipil. Sejumlah besar Yodium radioaktif dan Cesium dilepaskan ke udara karena ledakan dan kebakaran di lokasi kecelakaan. Sebagian besar bahan radioaktif ini disimpan di dekat instalasi, tetapi sejumlah besar radionuklida ini dibawa oleh arus angin ke Belarus, Federasi Rusia dan Ukraina dan sampai batas tertentu di beberapa bagian Eropa.

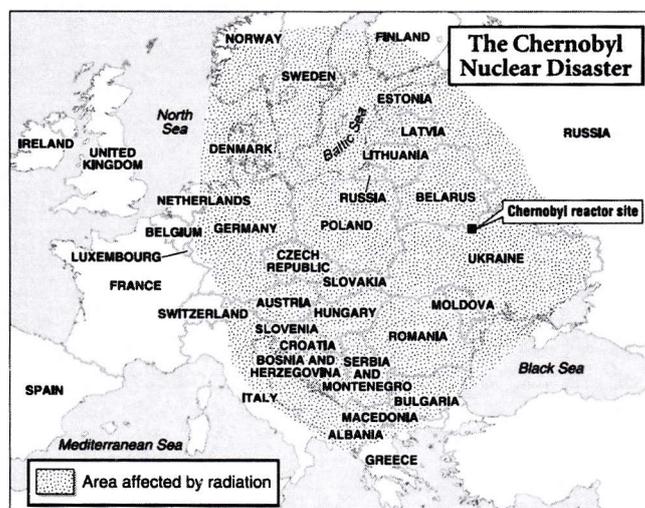
Pada tahun 2006, WHO menerbitkan laporan "Efek Kesehatan dari Kecelakaan Chernobyl dan Program Perawatan Kesehatan Khusus" merangkum 20 tahun penelitian tentang konsekuensi kesehatan dari kecelakaan Chernobyl<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> **US NRC**, 2018-2019 *Information Digest*, NUREG – 1350, Vol. 30.

<sup>2</sup> Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group "Health", WHO, Geneva, 2006 — is available at:

Gambar 1 memperlihatkan sejumlah negara Eropa Barat dan Skandinavia yang terkena debu radioaktif akibat kecelakaan PLTN Chernobyl. Dari sumber yang lain juga diberitakan bahwa tidak kurang dari 200 peternakan domba di Inggris terpapar debu radioaktif tersebut, sehingga dagingnya tidak dapat dikonsumsi manusia.



**Gbr. 1. Negara-negara yang terpapar debu radioaktif dari PLTN Chernobyl [6].**

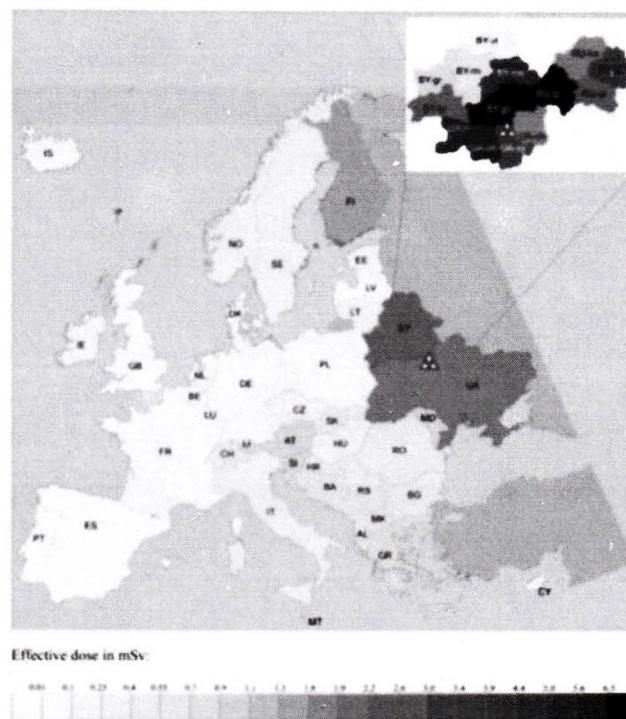
## II. DAMPAK RADIASI NUKLIR TERHADAP KESEHATAN MANUSIA DAN LINGKUNGAN

### a. Pengaruh Radiasi Nuklir terhadap Manusia,

Meningkatnya penggunaan prosedur diagnostik berbasis X-Ray telah menimbulkan kekhawatiran di kalangan warga sipil dan militer tentang potensi kesehatan

[http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241594179\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241594179_eng.pdf) .

Jangka panjang mereka, terutama kanker. Diperkirakan sekitar 5 miliar pemeriksaan pencitraan dilakukan di seluruh dunia setiap tahun, dan 2 dari 3 pemeriksaan melibatkan radiasi pengionan. Pada tahun 2006, dosis paparan radiasi medis di AS diperkirakan mencapai 3,2 mSv (mili Sievert), yang lebih dari enam kali lipat dari yang perkiraan pada tahun 2004. Pada tahun 2006, sekitar 20 juta pemeriksaan obat nuklir dilakukan, dan pada tahun 2008, 60 juta orang menjalani *computed tomography* (CT) scan di Amerika Serikat. Perkiraan ini tidak termasuk prosedur diagnostik lainnya seperti rontgen dada, rontgen gigi, pencitraan fluoroskopi, *tomography emission positron* (PET) scan, *Pencitraan Resonansi Magnetik* (MRI) scan. Risiko akan dampak radiasi ini juga dialami oleh *para penambang uranium*. Risiko kebocoran reaktor fisi terhadap *kehatan manusia*, serta *kehawatiran atas usulan BATAN akan membangun PLTN di Indonesia* yang berdaya di atas 1000 MWe; yang berarti 500-an kali lipat lebih besar dari reaktor nuklir penghasil radioisotop yang banyak digunakan dalam dunia kedokteran dan riset pertanian. Risiko potensial dosis diagnostik radiasi antara lain kanker dan penyakit *nonneoplastic*. Selain itu, juga termasuk *mutasi somatik* dan diwariskan. Peningkatan risiko kanker tiroid setelah Sinar-X gigi berulang telah dilaporkan, tetapi penelitian ini telah diperdebatkan oleh British Dental Association.



**Gbr.1. Distribusi spasial rata-rata dosis tiroid spesifik negara dari Chernobyl di Eropa untuk anak-anak berusia 1 tahun saat kecelakaan reaktor.**

Selama tiga dekade terakhir, perhatian telah difokuskan pada penyelidikan tentang hubungan antara paparan radionuklida yang dirilis dalam kecelakaan Chernobyl dan efeknya yang terlambat, khususnya kanker tiroid. Dosis tiroid yang diterima dalam beberapa bulan pertama setelah kecelakaan itu sangat tinggi pada anak-anak dan remaja yang tinggal di daerah yang paling terkena dampak, yang minum susu yang terkontaminasi yodium radioaktif [8]. Subpopulasi ini telah ditindaklanjuti melalui registrasi Chernobyl nasional untuk peningkatan risiko kanker tiroid<sup>3</sup>.

Simbol radioaktivitas pada Gambar 1 menunjukkan lokasi PLTN Chernobyl. Nama-nama negara (gambar di kanan atas) adalah singkatan menurut ISO. Untuk Belarus,

<sup>3</sup> Bogdanova T. et al. Histopathological features of papillary thyroid carcinomas detected during four screening examinations of a Ukrainian-American cohort, Br J Cancer. 2015 Dec 1; 113(11):1556-64. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26625214> .

Federasi Rusia dan Ukraina distribusi spasial dosis juga diberikan oleh Oblast. Singkatan berikut digunakan untuk Oblasts. Belarus: untuk Brest, BY-br; untuk Gomel, BY-go; untuk Grodno, BY-gr; untuk Minsk, BY-mi; untuk Mogilev, BY-mo; untuk Vitebsk, BY-vt. Rusia: untuk Bryansk, RU-br; untuk Kaluga, RU-ka; untuk Orel, RU-atau; untuk Tula, RU-tu. Ukraina: untuk Chernihiv, UA-ch; untuk Kyiv, UA-ky; untuk Rivno, UA-ri; untuk Zhytomir, UA-zh.<sup>4</sup> Hasil kajian menunjukkan bahwa bahaya radiasi nuklir juga menimbulkan dampak psikososial dan kesehatan jiwa manusia [7].

Pilot pesawat militer dan sipil, serta awak pesawat berpotensi terkena radiasi pengion kosmik, karsinogen kimia potensial (bahan bakar dan knalpot mesin jet), dan medan elektromagnetik dari instrumen kokpit. Beberapa penelitian epidemiologi menunjukkan peningkatan risiko kanker pada populasi ini karena paparan radiasi kosmik. Saat ini, tidak ada strategi perlindungan biologis terhadap efek kesehatan yang merugikan dari radiasi dosis rendah, termasuk prosedur radiasi diagnostik. Penggunaan proteksi radiasi fisik saat ini tidak memadai untuk mengurangi risiko kesehatan akibat radiasi dosis rendah. [1]

Temuan adanya paparan limbah Cs-137 di Kompleks Perumahan Batan Indah pada pertengahan bulan Februari 2020 telah mengejutkan masyarakat Jakarta dan Jawa Barat, khususnya mereka yang tinggal di Kawasan Serpong, Tangerang Selatan<sup>5</sup>.

### III. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

---

<sup>4</sup> Vladimir Drozdovitch et.al., *Radiation exposure to the population of Europe following the Chernobyl Accident*, Research Gate, Article in Radiation Protection Dosimetry · February 2007. See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/6572462>.

<sup>5</sup> Informasi selengkapnya dapat dibaca pada <https://www.suara.com/tekno/2020/02/20/072000/misteri-pemilik-cesium-137-yang-picu-radiasi-nuklir-di-serpong>.

Sejarah panjang penggunaan teknologi nuklir memiliki dua sisi yang bertolak belakang. Di satu sisi, teknologi ini merupakan senjata pamungkas yang mengakhiri Perang Dunia II dan menimbulkan begitu banyak korban jiwa dan cacat seumur hidup. Di sisi lain, yaitu di masa damai, dimanfaatkan sebagai penghasil isotop untuk diagnosis medis dan sebagai pembangkit listrik tenaga nuklir. Penerapan teknologi nuklir di masa damai ternyata juga menimbulkan masalah baru, yaitu dampak radiasi akibat kebocoran radioaktif, yang mengancam keselamatan orang banyak dan berujung pada panasnya suhu geopolitik dengan negara-negara lain. Berdasarkan catatan sejarah perjalanan teknologi nuklir, serta adanya kesepakatan bersama untuk melaksanakan Pembangunan Berkelanjutan, pemenuhan kebutuhan akan energi bagi pembangunan tersebut disepakati harus melalui pemanfaatan energi alternatif yang terbarukan.

Untuk itu perlu dilakukan pembaruan kebijakan dalam pemanfaatan energi nuklir, baik tentang batas kapasitas dayanya, peruntukan, maupun dalam regulasi penggunaan peralatan diagnosis kesehatan tubuh manusia dengan menggunakan isotop medik. Makalah ini menawarkan usulan perubahan atas Undang-Undang No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, untuk dimasukkan ke dalam RUU Cipta Kerja.

Rekomendasi bagi RUU Cipta Kerja, khususnya dalam memperbaiki UU Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, adalah sebagai berikut:

- 1. Reaktor nuklir fisi tidak boleh dibangun untuk menghasilkan tenaga listrik, kecuali reaktor untuk memproduksi isotop dan eksperimen.*
- 2. Pembatasan kapasitas daya reaktor dan tidak boleh melebihi 5 MW, serta hanya digunakan untuk mendukung penelitian di bidang medis dan pertanian.*
- 3. Melarang pembangunan PLTN Reaksi Fisi, sampai ditemukannya teknologi baru yang tidak menyisakan limbahnya yang bersifat radioaktif.*
- 4. Batas paparan radioaktif terhadap manusia tidak boleh melebihi 1 mSv per tahun.*

5. Semua orang/pasien yang menjalani diagnosis yang menggunakan peralatan berikut ini wajib memperoleh surat hasil diagnosis yang juga menyebutkan kekuatan (radiasi) peralatan diagnosis yang digunakan.

Peralatan	Paparan
X-ray dada	0,1 mSv
CT-Scan	10 mSv atau lebih
MRI	15,4 mSv
X-ray gigi	0,005 mSv
Pencitraan Fluoroskopi	30 mGy/menit atau 3 rad/menit
PET-Scan	25 mSv

6. Pilot pesawat militer maupun sipil beserta para awak pesawatnya wajib dibatasi jumlah jam terbangnya, agar tidak melampaui paparan maksimum radiasi kosmik yang dapat mengganggu kesehatan mereka. Rerata tingkat dosis ekuivalen ambien berada di wilayah 4 - 5  $\mu$ Sv per jam untuk pilot jarak jauh dan 1 - 3  $\mu$ Sv per jam untuk jarak pendek, memberikan rata-rata paparan efektif tahunan 2 - 3 mSv untuk jarak jauh, dan 1 - 2 mSv untuk jarak pendek [9].
7. Reaktor harus jauh dari hunian/perumahan, jalan umum, serta aktifitas masyarakat umum sekurang-kurangnya dalam radius 1 kilometer.
8. Reaktor harus dijaga ketat dari ancaman teroris maupun drone pembawa kamera video dan bahan peledak yang dapat dikendalikan dari jauh.
9. Limbah dari proses reaksi fisi masih bersifat radioaktif dan umurnya bertahan ratusan tahun. Karena itu harus disimpan di tempat yang aman dan mampu bertahan ratusan tahun. Proses penyimpanan limbah inilah yang menjadi masalah terbesar, disamping risiko radiasinya apabila terjadi kebocoran di reaktor maupun di tempat pembuangan limbah.
10. Bahwa sebuah reaktor yang telah mengakhiri pengoperasiannya wajib menjalani tahapan decomisioning dan dismantling yang sangat mahal.

Kiranya rekomendasi ini dapat dipertimbangkan dan menjadi masukan bagi penyusunan RUU Cipta Kerja, khususnya dalam hal Ketenaganukliran.

Atmonobudi Soebagio

**Daftar Referensi:**

1. Kedar N. Prasad, *Radiation Injury Prevention and Mitigation in Humans*, **CRC Press**, ISBN,978-1-4398-7424-0 (hardcover).
2. **U.S. NRC**, 2018-2019 Information Digest, NUREG – 1350, Vol. 30.
3. N.L. Char and B.J. Csik, *Nuclear power development: History and outlook. Events have changed the global prospects for nuclear power*. **IAEA BULLETIN**, 3/1987.
4. **IAEA**, *Nuclear Power Reactors in The World*, Reference Data Series No.2, 2018 Edition.
5. Michio Kaku and Jennifer Trainer (editor), *Nuclear Power: Both Sides – The Best Arguments For and Against the Most Controversial Technology*. W.W.Norton & Co., 1982.
6. W. Scott Ingram, *The Chernobyl Nuclear Disaster*, Facts on File Inc., 2005.
7. V. Kortov and Yu Ustyantsev, *Chernobyl accident: Causes, consequences and problems of radiation measurements*,
8. **WHO**, *1986-2016: Chernobyl at 30*, 25 April 2016.
9. Michael Bagshaw, *Cosmic Radiation in Commercial Aviation*, King's College London.
10. **IAEA**, *Making Sense of Radiation Safety: Protecting People and the Environment*, 60<sup>th</sup> Years Atom for Peace and Development.

## Usulan 2: Prof. Liek Wilardjo, Ph.D.

### Draft Usulan Pasal Tambahan dalam RUU Ketenaganukliran (bagian dari RUU Cipta Kerja)<sup>6</sup>

Liek Wilardjo\*

\*Gurubesar Fisika Emeritus, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga

#### Catatan awal

Dalam rangka menanggapi RUU Ketenaganukliran yang merupakan satu paket dengan RUU Cipta Kerja (atau kerap disebut *Omnibus Law*), Prof. L. Wilardjo memberikan usulan masukan secara ringkas sebagai berikut:

"Seandainya saya ikut FGD itu, tiga hal yang akan saya *urun-rembug*-kan ialah:

- (1) Energi nuklir O.K., asal bukan fisi dengan reaktor daya untuk pembangkitan energi termal/elektrik.
- (2) Pekerja di bidang nuklir harus secara sukarela memberikan PSP (persetujuan setelah penjelasan; *informed consent*).
- (3) Pekerja di bidang nuklir diberi asuransi kesehatan dan jiwa, yang polisnya dibayari oleh negara/majikan."

Tambahan penjelasan beliau:

"Butir (1) untuk mencegah luntarnya stipulasi "*nuklir sebagai opsi terakhir*" (-nya KEN & presiden). Butir (2) & (3) demi proteksi dan keselamatan para pekerja. Di butir (2) dapat dipikirkan perlu atau tidaknya klausa tentang *proxy* PSP bagi

---

<sup>6</sup> Ditulis ulang oleh V. Christianto, email: victorchristianto@gmail.com

pekerja kerah-biru aras rendah yang pengetahuannya tentang bahaya radiasi kurang memadai.”

Mengingat beliau sudah masuk dalam usia *octogenarian*, karena itu berhalangan untuk hadir dan menyampaikan makalah beliau.

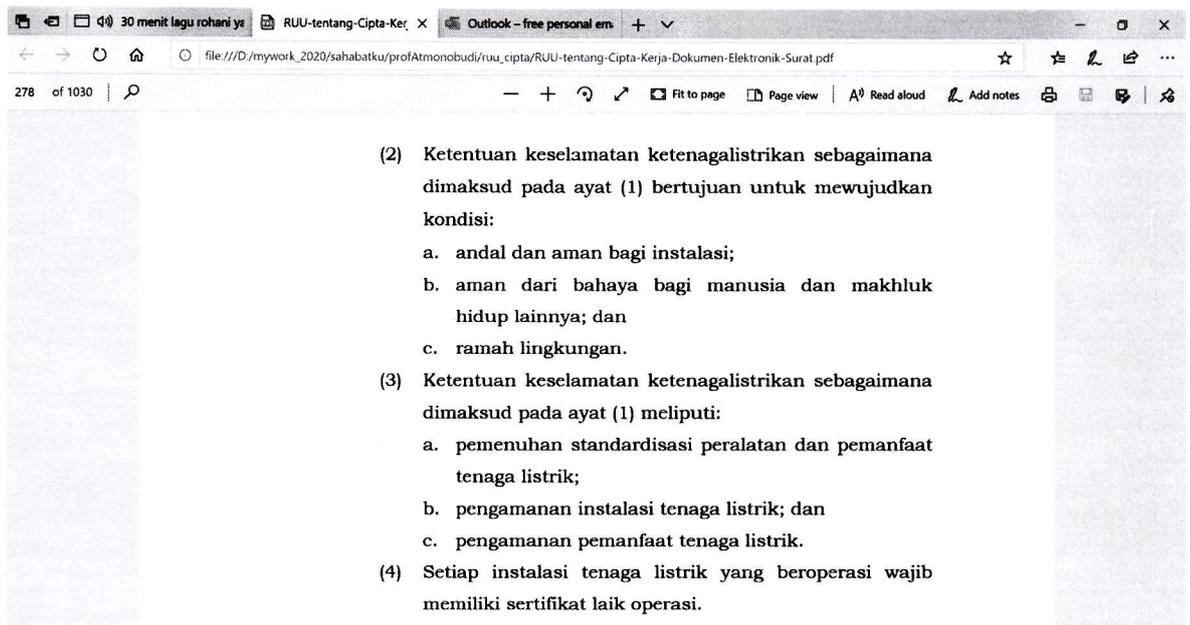
Saya berusaha menyampaikan butir-butir pemikiran beliau secara lebih jelas dengan harapan dapat menjadi pertimbangan bagi para pengambil keputusan.

### **Pembahasan tiap butir usulan**

(1) *Energi nuklir O.K., asal bukan fisi dengan reaktor daya untuk pembangkitan energi termal/elektrik.*

Perlu terus diingatkan, bahwa energi nuklir itu bukan hanya fisi (yang kemudian kerap disebut PLTN). Mengapa? Karena nuklir fisi menyebabkan limbah radioaktif yang sangat sulit dikelola dengan baik atau diolah menjadi limbah yang tidak berbahaya, selain berisiko bocor yang menyebabkan polusi radiasi yang berbahaya seperti kasus Chornobyl, Fukushima dll.

Hal-hal ini tentunya bertentangan dengan kriteria keamanan dalam penyediaan listrik bagi masyarakat, lihat pasal 44 ayat 2 dalam RUU Ketenagalistrikan:



Gambar 1. Cuplikan pasal 44 ayat 2, hal. 277, RUU Cipta Kerja

- (2) Pekerja di bidang nuklir harus secara sukarela memberikan PSP (persetujuan setelah penjelasan; *informed consent*).

Para pekerja yang direkrut baik untuk penelitian atau reaktor nuklir mesti memperoleh informasi yang cukup mengenai tugas, tanggungjawab dan resiko yang mungkin terjadi. Baru mereka dipersilakan untuk menandatangani perjanjian *consent*.

- (3) *Pekerja di bidang nuklir diberi asuransi kesehatan dan jiwa, yang polisnya dibayari oleh negara/majikan.*

Terkait dengan butir usulan no. (2), meskipun pekerja atau peneliti yang bersangkutan telah menandatangani *informed consent*, namun tetap menjadi kewajiban dari Negara/Operator reaktor untuk memberikan asuransi kesehatan dan jiwa yang layak sebagai bentuk penghargaan atas dedikasi dan juga martabat mereka sebagai manusia.

## Penutup

Dalam artikel singkat ini, telah diuraikan secara ringkas beberapa usulan praktis untuk membuat energi nuklir yang dikembangkan di negeri ini benar-benar menjadi jawaban atas persoalan energi nasional, dan bukannya menciptakan rangkaian masalah baru.

Like Wilardjo

Bacaan lanjutan:

[1] Ioannis Kessides. Nuclear power: Understanding the economic risks and uncertainties. *Energy Policy*, Volume 38, Issue 8, August 2010, Pages 3849-3864.

## **Usulan 3: Ir. Victor Christianto**

### **Beberapa Usulan Pasal Tambahan dalam RUU Ketenaganukliran**

(bagian dari RUU Cipta Kerja)

**Victor Christianto\***

\*Institut Pertanian Malang, Indonesia

#### **Catatan awal**

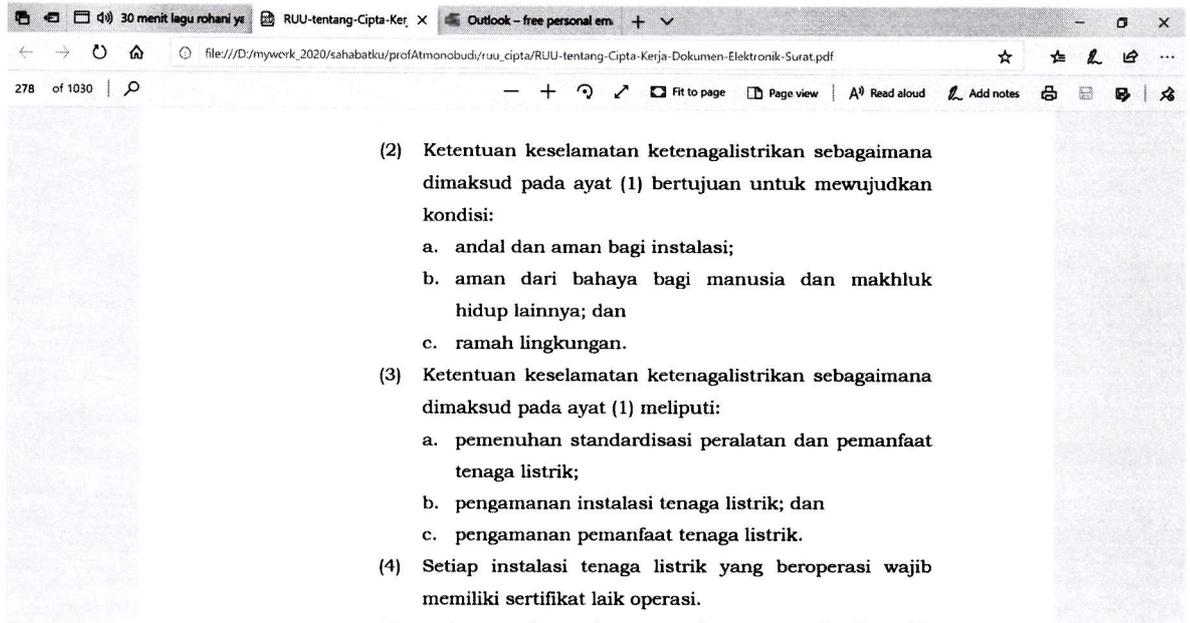
Dalam rangka menanggapi RUU Ketenaganukliran yang merupakan satu paket dengan RUU Cipta Kerja (atau kerap disebut *Omnibus Law*), perkenankan saya memberikan beberapa usulan masukan secara ringkas sebagai berikut:

- (1) Perlu definisi yang lugas tentang definisi energi nuklir bersih (clean nuclear energy).
- (2) Catatan untuk no (1), energi nuklir dengan metode apapun, mesti menghasilkan limbah yang sedapat mungkin dapat diolah kembali atau paling tidak usia luruhnya dapat dikurangi menjadi tidak lebih dari 100 tahun. Di antara jenis energi nuklir yang non-fisi dan non-konvensional yang juga perlu dikaji, misalnya adalah perkembangan dalam riset hydrino, fusi benda termampatkan, fusi-laser dll.

- (3) Catatan untuk no. (1), energi nuklir yang akan dikembangkan mesti juga mempertimbangkan biaya produksi dan juga biaya penambangan-biaya lingkungan-biaya pengolahan limbah-biaya dekomisioning, dengan kata lain mempertimbangkan biaya total selama masa layanan reactor hingga biaya pasca-produksi. Biaya total tersebut diharapkan tidak melebihi biaya total PLTU dan PLTBatubara.
- (4) Catatan untuk pasal (2a) dalam RUU Ketenaganukliran: Pemerintah berwenang memberikan ijin usaha, dengan catatan bahwa reaktor yang akan dibangun telah mendapat sertifikat laik operasi oleh badan internasional yang berwenang, seperti IAEA.
- (5) Pasal 25 dalam RUU Ketenagakliran mesti diperjelas, badan atau lembaga negara mana yang akan ditunjuk untuk penyimpanan limbah radioaktif secara permanen?

#### **Pembahasan tiap butir usulan**

- (1) Perlu definisi yang lugas tentang definisi energi nuklir bersih (*clean nuclear energy*).  
Perlu terus diingatkan, bahwa energi nuklir itu bukan hanya fisi (yang kemudian kerap disebut PLTN). Mengapa? Karena nuklir fisi menyebabkan limbah radioaktif yang sangat sulit dikelola dengan baik atau diolah menjadi limbah yang tidak berbahaya, selain berrisiko bocor yang menyebabkan polusi radiasi yang berbahaya seperti kasus Chornobyl, Fukushima dll.. Hal-hal ini tentunya bertentangan dengan kriteria keamanan dalam penyediaan listrik bagi masyarakat, lihat pasal 44 ayat 2 dalam RUU Ketenagalistrikan:



Gambar 1. Cuplikan Pasal 44 Ayat 2, hal. 277, RUU Cipta Kerja

Masalah utama dengan RUU Ketenaganukliran ini tampaknya adalah mempersempit definisi energi nuklir menjadi nuklir fisi. Padahal semestinya tetap mempertimbangkan juga alternatif nuklir lainnya, misalnya fusi termal, fusi laser, hydrino dll. Riset terbaru mengenai hidrino, misalnya, menunjukkan bahwa produksi energi dengan *net power gain* positif dapat dilakukan bahkan dengan biaya di bawah atau sekitar \$1000. Hal-hal ini yang kiranya perlu dijajagi.

Ada juga penelitian yang lebih mutakhir mengenai fusi benda mampat (CMNS) atau metallic-hidrogen yang dilakukan oleh Prof Homlid dari Swedia. Hal-hal ini yang kiranya perlu juga menjadi bahan kajian, jadi jangan membatasi dengan Nuklir fisi *an sich*.

Karena itu, usulan konkrit kami adalah mesti mempertimbangkan definisi energi bersih (*clean energy*) sebagai berikut:

"Renewable energy, often referred to as clean energy, comes from natural sources or processes that are constantly replenished. For example, sunlight

or wind keep shining and blowing, even if their availability depends on time and weather.

While renewable energy is often thought of as a new technology, harnessing nature's power has long been used for heating, transportation, lighting, and more. Wind has powered boats to sail the seas and windmills to grind grain. The sun has provided warmth during the day and helped kindle fires to last into the evening. But over the past 500 years or so, humans increasingly turned to cheaper, dirtier energy sources such as coal and fracked gas.<sup>7</sup>

Definisi lain:

"NCSEA defines clean energy as energy derived from renewable, zero-emissions sources ("renewables"), as well as energy saved through energy efficiency ("EE") measures."<sup>8</sup>

Pertanyaannya lalu adalah: Apakah energi nuklir termasuk dalam renewable /clean energy source? Jawaban yang jelas menurut definisi tersebut adalah: tidak. Lalu bagaimana dengan istilah EBT (energi baru terbarukan)? Kalau boleh usul, penulis hendak mengajukan jalan tengah begini: boleh saja kita masukkan istilah EBT sebagai bagian dari "*Clean energy*," namun mesti mempertimbangkan apa yang dimaksud dengan "*clean nuclear energy*". Mempertimbangkan juga penelitian yang lebih mutakhir mengenai fusi benda mampat (CMNS) atau *metallic*-hidrogen yang dilakukan oleh Prof Homlid dari Swedia, maka pada hemat penulis yang dapat disebut dengan clean nuclear energi adalah produksi energi dari inti atom, yang bersifat:

- Aman
- Risiko bencana yang rendah dan tidak berdampak meluas dan sistemik
- Ramah lingkungan

---

<sup>7</sup> <https://www.nrdc.org/stories/renewable-energy-clean-facts>

<sup>8</sup> <https://energync.org/what-is-clean-energy/>

- Limbah buangan tidak berdampak radioaktif yang meluas, tidak memiliki usia luruh hingga 10,000 tahun atau lebih
- Bahan buangan dapat didaur ulang atau digunakan kembali

Jika usulan definisi "clean nuclear energy" tersebut dapat diterima, maka usulan saya adalah:

a. *Catatan untuk pasal (2a) dalam RUU Ketenaganukliran: Pemerintah berwenang memberikan ijin usaha, dengan catatan bahwa reaktor yang akan dibangun bersifat energi nuklir bersih dan telah mendapat sertifikat laik operasi oleh badan internasional yang berwenang, seperti IAEA.*

b. Pasal 2b hendaknya ditambahkan sbb.:

*"Yang dimaksud dengan energi nuklir bersih adalah produksi energi dari inti atom, yang bersifat:*

- *Aman*
- *Risiko bencana yang rendah dan tidak berdampak meluas dan sistemik*
- *Ramah lingkungan*
- *Limbah buangan tidak berdampak radioaktif yang meluas, tidak memiliki usia luruh hingga 10,000 tahun atau lebih*
- *Bahan buangan dapat didaur ulang atau digunakan kembali."*

(2) *Catatan untuk no (1), energi nuklir dengan metode apapun, mesti menghasilkan limbah yang sedapat mungkin dapat diolah kembali atau paling tidak usia luruhnya dapat dikurangi menjadi tidak lebih dari 100 tahun. Di antara jenis energi nuklir yang non-fisi dan non-konvensional yang juga perlu dikaji, misalnya adalah perkembangan dalam riset hydrino, fusi benda termampatkan, fusi-laser dll.*

Sebagaimana disebut dalam penjelasan untuk butir (1), ada berbagai perkembangan terbaru dalam bidang riset nuklir. Misalnya, dalam riset fusi saja, setidaknya ada 3 perkembangan yang layak dicatat: fusi laser-fokus

(focus fusion)<sup>9</sup> lihat juga LPP fusion,<sup>10</sup> Project Safire,<sup>11</sup> dan juga fusi benda termampatkan (CMNS).<sup>12</sup> Jadi sangat membatasi ruang lingkup, jika hendak mencari solusi energi nuklir hanya dengan solusi yang dikembangkan tahun 1940-1960an, yaitu PLTN. Untuk mengingat kalimat seorang fisikawan terkenal: "masalah masalah hari ini tidak dapat dipecahkan dengan menggunakan cara berpikir yang sama yang telah menyebabkan masalah tersebut."<sup>13</sup>

*(3) Catatan untuk no. (1), energi nuklir yang akan dikembangkan mesti juga mempertimbangkan biaya produksi dan juga biaya penambangan-biaya lingkungan-biaya pengolahan limbah-biaya dekomisioning, dengan kata lain mempertimbangkan biaya total selama masa layanan reaktor hingga biaya pasca-produksi. Biaya total tersebut diharapkan tidak melebihi biaya total PLTU atau PLTBatubara.*

Perlu dilakukan kajian yang komprehensif mengenai biaya total pembangkitan energi nuklir, entah dengan metode apapun, sehingga dapat mencakup pertimbangan biaya dalam seluruh masa hidup proyek tersebut, mulai persiapan, penambangan, operasional, risiko bencana, hingga pasca-produksi. [1][2][3]

Ibaratnya membeli mobil, tentu kita tidak saja mempertimbangkan harga jual mobil tersebut, namun juga biaya operasional dan layanan pasca jual.

Hal-hal ini yang tampaknya kerap belum diberikan perhatian yang cukup oleh pengambil kebijakan.

---

<sup>9</sup> <https://focusfusion.org/>

<sup>10</sup> <https://lppfusion.com/>

<sup>11</sup> <https://safireproject.com/>

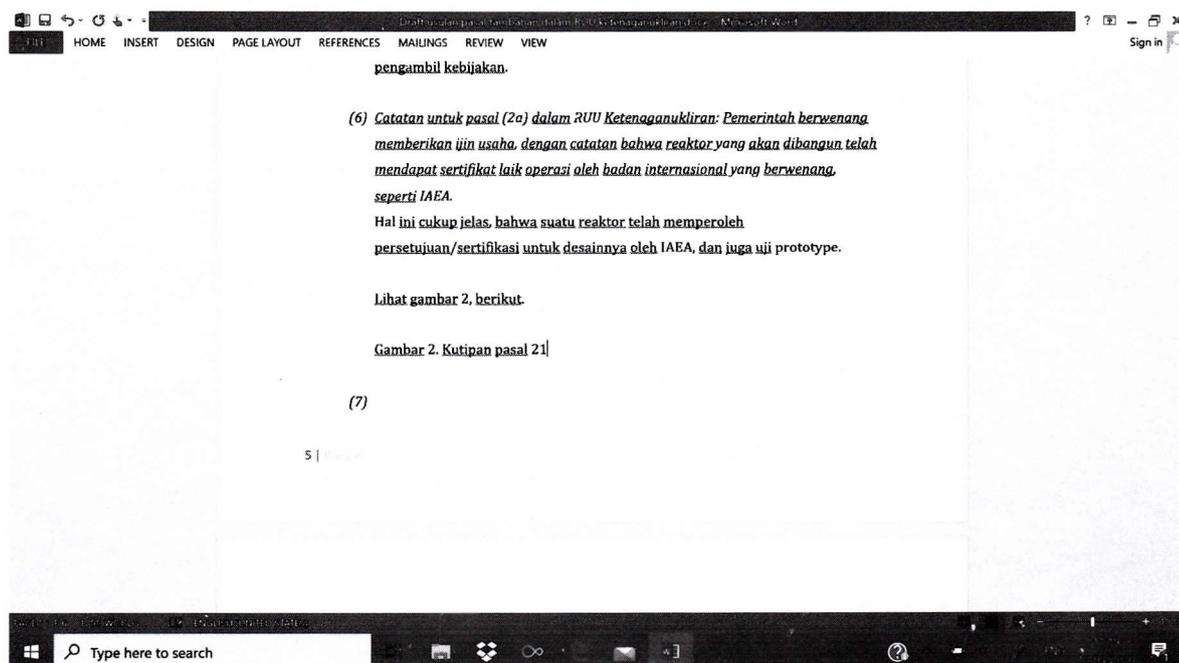
<sup>12</sup> <https://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/6190>

<sup>13</sup> <https://hsm.stackexchange.com/questions/7751/did-einstein-say-we-cannot-solve-our-problems-with-the-same-thinking-we-used-to>

(4) *Catatan untuk pasal (2a) dalam RUU Ketenaganukliran: Pemerintah berwenang memberikan ijin usaha, dengan catatan bahwa reaktor yang akan dibangun telah mendapat sertifikat laik operasi oleh badan internasional yang berwenang, seperti IAEA.*

Hal ini cukup jelas, bahwa suatu reaktor telah memperoleh persetujuan/sertifikasi untuk desainnya oleh IAEA, dan juga uji prototype.

Lihat gambar 2, berikut.

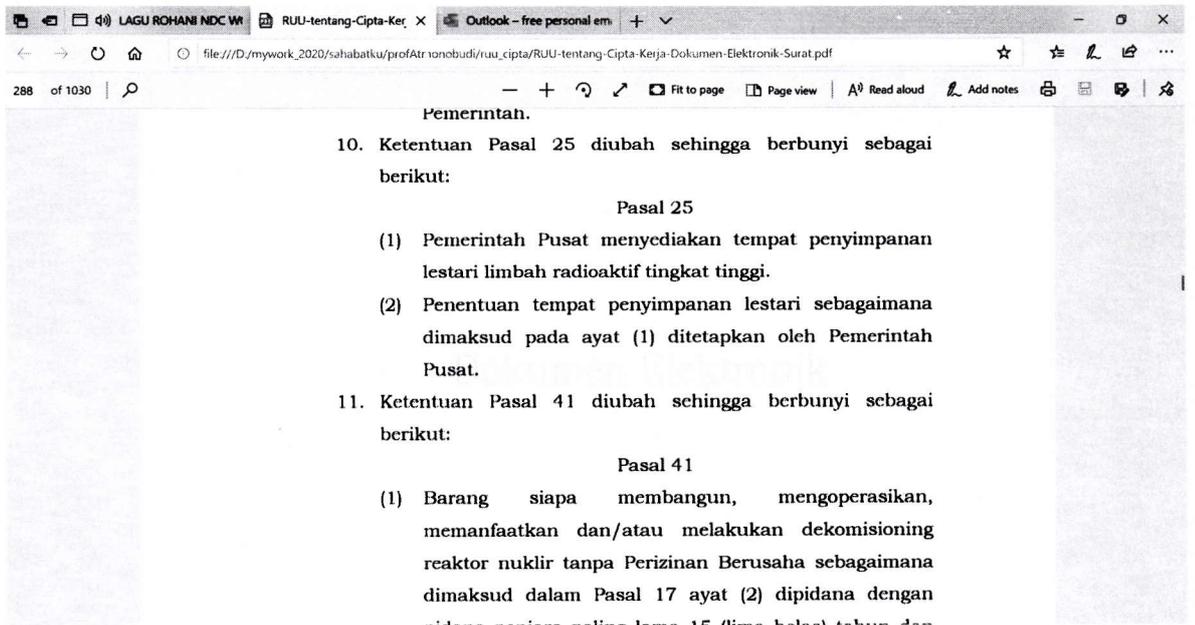


Gambar 2. Kutipan Pasal 2a, RUU Ketenaganukliran, RUU Cipta Kerja

(5) *Pasal 25 dalam RUU Ketenaganukliran mesti diperjelas, badan atau lembaga negara mana yang akan ditunjuk untuk penyimpanan limbah radioaktif secara permanen?*

Hal ini penting, agar tidak menimbulkan saling tunjuk atau problem di kemudian hari, karena di negara maju saajapun tidak atau belum ada solusi permanen untuk penyimpanan atau pengolahan limbah radioaktif dari reaktor nuklir. Memang telah ada upaya untuk membuat reaktor yang dapat

mengolah *spent fuel* (disebut: *reaktor full cycle*), namun hal itu masih sulit dilakukan. Hal ini sangat penting, karena saat ini wawasan lingkungan telah mensyaratkan pengelolaan limbah secara berkelanjutan, disebut dengan “ekonomi sirkular.”



Gambar 3. Pasal 25 dari RUU Ketenaganukliran

## Penutup

Dalam artikel singkat ini, telah diuraikan secara ringkas beberapa usulan praktis untuk membuat energi nuklir yang dikembangkan di negeri ini benar-benar menjadi jawaban atas persoalan energi nasional, dan bukannya menciptakan rangkaian masalah baru.

Victor Christianto

Bacaan lanjutan:

[1] Nuclear Costs in context, NEI. Url: <https://www.nei.org/resources/reports-briefs/nuclear-costs-in-context>

[2] Daria Iurshina et al. Why nuclear power plants cost so much. *Bulletin of the Atomic Scientists*. url: <https://thebulletin.org/2019/06/why-nuclear-power-plants-cost-so-much-and-what-can-be-done-about-it/>

[3] Jessica R. Loveringa, Arthur Yipa, Ted Nordhaus. Historical construction costs of global nuclear power reactors. *Energy Policy*, Volume 91, April 2016, Pages 371-382. url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421516300106>

[4] ALEXEY LOKHOV, RON CAMERON, VLADISLAV SOZONIUK. OECD/NEA study on the economics and market of small reactors. *Nuclear Engineering and Technology*, Volume 45, Issue 6, 2013, pp. 701-706

[5] Ioannis Kessides. Nuclear power: Understanding the economic risks and uncertainties. *Energy Policy*, Volume 38, Issue 8, August 2010, Pages 3849-3864