

# ROSATOM NEWSLETTER

## 01.

### ARTIKEL

Manfaat Nuklir dari PLTN Rusia  
Kedokteran Nuklir Tanpa Batas  
NIITFA: Kedokteran dan Lebih dari Itu



## 02.

### TREN

Fusi Nuklir: Menuju Energi Praktis



## 03.

### ARTIKEL DAERAH

**Indonesia.** Dialog di Semua Tingkatan

# Manfaat Nuklir dari PLTN Rusia

Rosatom siap berbagi teknologi dengan negara-negara sahabat, membantu menciptakan fondasi energi dan teknologi bagi tatanan ekonomi baru serta meningkatkan kualitas hidup. Para mitra perusahaan negara ini sudah merasakan manfaat tersebut, bahkan pada tahap konstruksi PLTN. Hal ini dan juga prospek penggunaan teknologi nuklir Rusia di ruang angkasa dibahas dalam forum internasional Pekan Energi Rusia yang berlangsung di Moskow pada 15–17 Oktober.



Rosatom menguasai sekitar 90% pasar global pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir. Di seluruh dunia sudah dibangun 110 unit pembangkit desain Rusia. "Rusia adalah satu-satunya negara yang memiliki kompetensi lengkap di seluruh rantai industri nuklir. Saat membangun di luar negeri, kami tidak hanya mendirikan fasilitas, tetapi bersama mitra menciptakan masa depan sektor energi dan industri terkait, membentuk basis SDM, ilmiah, dan teknologi nasional yang kuat bagi perkembangan negara. Atas dasar inilah kami membangun PLTN di Mesir, Bangladesh, Turki. Kami berniat memperdalam kerja sama nuklir dengan negara-negara Selatan Dunia melalui jalur BRICS," ujar Presiden Rusia Vladimir Putin di Pekan Energi Rusia.

Posisi unik ini dijamin oleh kemandirian penuh industri nuklir Rusia. "Tidak ada struktur manajemen lain di dunia yang mengonsolidasikan seluruh kompetensi dari eksplorasi dan penambangan uranium hingga dekomisioning dan proyek ekologis," kata Direktur Jenderal Rosatom Alexey Likhachev dalam sesi pleno.

Teknologi atom Rusia telah dibagikan sejak awal berdirinya industri melalui pembangunan reaktor penelitian dan energi di berbagai negara. "Berbagi teknologi dengan negara yang ingin membangun masa depan yang sejahtera. Itu sudah menjadi bagian dari kode genetik kami," ujar Alexey Likhachev.

Saat ini Rosatom sedang membangun 24 unit, telah memenangkan tender pembangunan PLTN dua-unit di Kazakhstan, serta menyepakati perluasan proyek

dengan Uzbekistan: bukan enam unit berdaya kecil, melainkan dua unit berdaya besar dan dua berdaya kecil. Belarus menyatakan keinginan membangun unit ketiga berdaya besar. Dengan Etiopia telah ditandatangani peta jalan pembangunan fasilitas pembangkit nuklir, dan beberapa negara lain sudah memasuki tahap akhir negosiasi.



## Manfaat pada Tahap Operasi

Berkat PLTN dua-unit yang dibangun Rosatom, Republik Belarus memperoleh energi bersih dan mengembangkan mobilitas listrik ramah lingkungan serta pemanas listrik berbasis energi bebas karbon: mulai dari pembangkit hingga motor dan ketel semuanya tanpa karbon. Di negara itu terdapat 41 ribu mobil listrik, dan diperkirakan mencapai 50 ribu pada akhir tahun.

Belarus membangun rumah susun baru dan

mengalihkan rumah tinggal pribadi ke pemanas listrik. Perusahaan BelEnergo, yang memasok panas dan listrik ke kota-kota besar, telah memasang ketel listrik dengan total kapasitas 916 MW.

Tidak berhenti di situ, Belarus bersama Rosatom mengembangkan digitalisasi, teknologi aditif, kedokteran nuklir, sistem penyimpanan energi, dan banyak lagi. "Siapa yang menggunakan energi nuklir tidak hanya memperkuat keamanan energi, tetapi juga menciptakan kondisi peningkatan kualitas dan kenyamanan hidup warga. Berani saya katakan: energi nuklir adalah motor kemajuan. Negara yang memiliki pembangkit nuklir akan selalu selangkah lebih maju," ujar Wakil Perdana Menteri Belarus Viktor Karankevich.

### **Manfaat pada Tahap Konstruksi**

Turki mendapat manfaat bahkan saat PLTN Akkuyu masih dalam tahap pembangunan. Menurut Menteri Energi dan Sumber Daya Alam Turki Alparslan Bayraktar, tingkat lokalisasi, yaitu partisipasi perusahaan Turki dalam pekerjaan, pasokan barang dan jasa, telah melampaui 50%. "Ini akan membantu kami mengembangkan proyek kedua dan ketiga atau bahkan proyek di luar Turki. Mungkin di Hungaria atau negara lain perusahaan kami bisa berpartisipasi," ujarnya.

Komunitas nuklir dunia menetapkan target melipatgandakan kapasitas total terpasang PLTN. Untuk itu, jelas sang menteri, dibutuhkan bukan hanya teknologi dan pendanaan, tetapi juga modal manusia. Turki memiliki: ratusan lulusan Turki yang memperoleh pendidikan nuklir di Rusia kini bekerja di PLTN Akkuyu. "Pengembangan modal manusia adalah bagian terpenting dari program pembangunan industri nuklir kami," tegasnya.



Contoh bagaimana sektor nuklir dapat mengubah kehidupan seseorang adalah kisah penerima Beasiswa Maria Skłodowska-Curie dari IAEA, Sohaila Abudeif dari Mesir, yang juga berbicara di Pekan Energi Rusia. Ia menempuh pendidikan tinggi di Rusia, menyelesaikan studi pascasarjana di Institut Fisika dan Teknologi Moskow, dan melakukan praktik di PLTN Novovoronezh. Kini Sohaila bekerja pada otomatisasi dan digitalisasi proses industri. Ia juga mengembangkan proyek ilmiah: bersama rekannya menciptakan instalasi untuk mendaur ulang plastik menggunakan radiasi pengion.

### **Rencana Antariksa**

Di Pekan Energi Rusia juga dibahas bagaimana teknologi nuklir membentuk wajah masa depan. Salah satu arah paling menarik adalah eksplorasi ruang angkasa. "Energi nuklir adalah kunci menuju Tata Surya. Dengan mesin berbahan bakar kimia kita tidak akan pergi jauh; manusia akan tetap terjebak di orbit rendah Bumi," kata angkasawan Oleg Kononenko di forum.

Rosatom dan Roskosmos sedang mengerjakan pembangunan PLTN bulan. Fasilitas tersebut dibutuhkan agar manusia dapat hidup, bekerja, melakukan eksperimen, menambang es air dari kawah kutub, menghasilkan oksigen dan hidrogen untuk bahan bakar roket, serta memasok energi untuk sistem komunikasi laser. Dalam jangka panjang: reaktor nuklir untuk menopang keberlangsungan koloni luar angkasa.

"Kami sangat terinspirasi oleh tugas membangun pembangkit listrik tenaga nuklir di Bulan. Belum pernah ada tantangan seperti ini dalam sejarah manusia. Tetapi tugas ini tercantum dalam proyek nasional bidang antariksa, sehingga kami wajib mewujudkannya," ujar Alexey Likhachev.

# Kedokteran Nuklir Tanpa Batas

Rosatom, pemimpin global dalam produksi isotop medis, terus memperluas kapasitas dan portofolionya di bidang kedokteran nuklir serta meningkatkan kerja sama internasional di sektor ini. Di antara peristiwa terbaru adalah partisipasi dan pertemuan dengan para mitra pada forum internasional Bioprom-2025 dan Pekan Atom Dunia.



## Bioprom 2025

Pada forum Bioprom 2025 yang berlangsung pada awal Oktober di kota Gelendzhik, Rosatom menyelenggarakan sesi bertema "Strategi Regulasi dalam Siklus Hidup Obat Radiofarmasetika". Para pakar radiofarmasetika membahas isu regulasi kedokteran nuklir, transfer hasil riset, pelaksanaan tahap pra-klinis dan uji klinis, penerapan metode serta teknologi baru, dan juga pelatihan tenaga profesional.

Moderator diskusi, Kepala Bidang Kerja Sama Ilmiah-Teknis dan Direktur Pengembangan Prospektif Rosatom, Ekaterina Chaban, menekankan bahwa menjaga kesehatan masyarakat adalah salah satu prioritas Rusia dan peran kedokteran nuklir kian meningkat. "Perusahaan-perusahaan Rosatom sedang mengembangkan lini luas produk radioisotop untuk diagnosis dan terapi penyakit onkologi maupun penyakit lain. Ada pula banyak radioisotop menjanjikan yang masih harus diteliti," ujar Ekaterina Chaban.

Para peserta membahas praktik Rusia dan internasional dalam registrasi radiofarmasetika inovatif. Wakil Menteri Kesehatan Rusia Sergey Glagolev menjelaskan mekanisme percepatan penerapan obat inovatif, syarat inklusi cepat ke dalam rekomendasi klinis dan program jaminan negara. Sementara itu, Direktur Registrasi Obat dari AstraZeneca Pharmaceuticals (perwakilan Rusia dan Eurasia), Ekaterina Yakovleva, menyatakan bahwa perusahaan farmasi global melihat radiofarmasi sebagai pasar masa depan dan sudah

mempertaruhkan investasi ke dalamnya.



Topik lain yang dibahas dalam sesi ini mencakup ketersediaan metode dan preparat modern untuk diagnostik dan terapi radionuklida, pemenuhan kebutuhan pasien, dan aspek keselamatan.

## Pekan Atom Dunia

Pada forum internasional Pekan Atom Dunia yang berlangsung di Moskow pada September lalu, perwakilan berbagai negara berbagi pengalaman kerja sama dengan Rosatom di bidang kedokteran nuklir.

Ketua proyek pendirian Pusat Kedokteran Nuklir Kementerian Kesehatan Kirgizstan, Baktygul Sultangazieva, menceritakan bahwa pada masa Uni Soviet Institut Onkologi dan Radiologi memiliki

departemen kedokteran nuklir, tetapi pada tahun 1990 departemen tersebut ditutup. Sejak itu penelitian dan terapi berbasis teknologi nuklir tidak dilakukan lagi. Padahal kebutuhan nasional sangat besar: setiap tahun terdeteksi sekitar 7 ribu kasus kanker baru di Kirgizstan dan sekitar setengahnya berakhir fatal dalam satu tahun. Situasi mulai berubah pada 2022 ketika, dengan dukungan Rosatom dan IAEA, Kirgizstan mulai mempersiapkan pembukaan departemen kedokteran nuklir di Pusat Nasional Onkologi dan Hematologi. Rosatom menyediakan paket diagnostik secara cuma-cuma.

Pasien pertama diterima oleh departemen kedokteran nuklir tersebut pada Juni 2024, dan sejak itu lebih dari 400 pasien telah menjalani pemeriksaan. Langkah berikutnya adalah pembangunan pusat kedokteran nuklir di kota Bishkek. "Ini pusat besar yang lengkap, mencakup radiofarmasi dengan siklotron, produksi radiofarmaseutikal berstandar GMP, visualisasi molekuler dengan pemindai tomografi emisi positron dan gamma kamera, serta terapi berbasis radioisotop dan teranostik. Kami mengerjakannya bersama perusahaan negara Rosatom," ujar Baktygul Sultangazieva. Bantuan tidak hanya diberikan kepada pasien onkologi, tetapi juga pasien kardiologi, endokrinologi, dan penyakit lain. "Ini adalah gold standard pelayanan kesehatan bagi rakyat Kirgizstan," tegasnya.



Ketua Masyarakat Serbia untuk Penanggulangan Kanker, ahli bedah saraf Danica Grujičić, menyatakan keagumannya terhadap capaian kedokteran nuklir Rusia. "Terutama terkait neuroblastoma, karena kalian sudah mulai menggunakan aktinium," ujarnya. Ia menambahkan bahwa Serbia memiliki basis diagnostik yang cukup baik, meskipun masih harus dikembangkan, namun kapasitas terapinya belum memadai. Saat ini seluruh radiofarmaseutikal diimpor, namun Serbia sedang mengkaji kemungkinan untuk membuka pusat kedokteran nuklir bekerja sama dengan Rusia, seperti yang dilakukan Kirgizstan. "Yang membuat saya senang: semakin banyak rekan muda memilih kedokteran nuklir sebagai spesialisasi mereka, ini menunjukkan bahwa minatnya terus tumbuh. Saya yakin masa depan kedokteran ada pada kedokteran nuklir," simpul Danica Grujičić.

Ketua Badan Kesehatan Mesir Ahmed El-Sobky mengatakan bahwa di sela forum ia membahas peningkatan infrastruktur kedokteran nuklir dengan rekan Rusia. Pembahasan tersebut mencakup bukan hanya Mesir tetapi juga negara-negara Afrika lainnya. "Negosiasi berjalan sangat baik. Kami berharap dapat bekerja sama dengan Rosatom dalam arah ini," katanya.

Contoh-contoh ini menunjukkan besarnya minat komunitas medis global terhadap capaian Rosatom dan organisasi Rusia lainnya di bidang kedokteran nuklir, serta penguatan kerja sama internasional dalam sektor penting ini.

# NIITFA: Kedokteran dan Lebih dari Itu

Institut Penelitian Ilmiah pada Fisika Teknis dan Otomasi (NIITFA) merayakan ulang tahunnya yang ke-65. Institut ini, yang secara historis memproduksi peralatan radiasi, perangkat tenaga radionuklida, dan sistem pengendalian nondestruktif, kini mengembangkan versi ekspor dari kompleks terapi gamma "Brachium", mengerjakan biofabrikasi jaringan dan organ, serta mempersiapkan produksi implan titanium dengan metode aditif.



NIITFA (sebelumnya dikenal sebagai Institut Penelitian Ilmiah Teknologi Radiasi Seluruh Uni Soviet; VNIIRT) didirikan pada 6 Oktober 1960. Ia menjalankan fungsi sebagai organisasi terdepan dalam bidang teknik dan teknologi radiasi. Institut tumbuh dengan cepat. Di VNIIRT diteliti dampak radiasi pengion terhadap berbagai bahan dan produk makanan. Mereka menciptakan alat kontrol seperti gamma-defektoskop, yaitu alat pengendalian nondestruktif struktur logam. Mereka mengembangkan sumber pembangkit listrik: generator termoemis radioisotop. Generator-generator ini digunakan untuk memberi daya pada perangkat berdaya rendah, misalnya di Arktik dan di ruang angkasa. Semua generator termoemis radioisotop Soviet dan Rusia dikembangkan di NIITFA.

Bidang kedokteran nuklir selama bertahun-tahun di Rusia terutama diwakili oleh satu produk berseri: kompleks terapi gamma "Agat". Sistem ini bekerja sebagai berikut: sesuai dengan peta penyinaran yang disusun oleh dokter dan fisikawan medis, isotop diposisikan secara mekanis tepat ke area neoplasma, kemudian tumor dihancurkan oleh kuanta gamma berenergi tinggi.

Pada tahun 1989 institut membuka cabang di kota Saransk. Di sana diproduksi pencacah Geiger dan ruang ionisasi untuk pengukuran fluks neutron.

## Saat Ini

Kompetensi utama NIITFA saat ini adalah pengembangan dan produksi peralatan medis berbasis teknologi nuklir. Produk unggulan institut adalah kompleks terapi gamma "Brachium". Sistem ini digunakan untuk brakiterapi kontak pada organ panggul, payudara, kerongkongan, nasofaring, dan rongga mulut. "Brachium" sudah dipasok ke klinik-klinik Rusia; pada 2025–2026 sebanyak 10 unit akan dikirim ke fasilitas kesehatan.



Kapasitas produksi NIITFA sepenuhnya menutup kebutuhan pasar Rusia. Karena itu hingga akhir 2027 institut berencana membuat versi ekspor perangkat tersebut. Versi ini akan dilengkapi perangkat lunak buatan sendiri dengan parameter yang ditingkatkan, sementara massa dan dimensi berkang sekitar

20%. Aplikator (perangkat untuk memasukkan sumber isotop) juga akan disempurnakan. Akan tersedia adaptor khusus sehingga aplikator impor dapat digunakan. Setelah modernisasi, peningkatan yang sama akan diterapkan pada versi Rusia; proses perubahan berkas registrasi sudah dimulai.

NIITFA juga mengembangkan pemindai MRI dengan induksi medan 1,5 Tesla, kategori "kuda kerja" dalam praktik medis sehari-hari. Institut menargetkan 25% pasar Rusia, sekitar 40 unit per tahun. Tiga unit seri pertama direncanakan dikirim untuk uji operasional pada 2027. Pada 2028 akan diproduksi sepuluh MRI, dan pada 2029 institut akan mencapai kapasitas penuh.

### Untuk Masa Depan

Salah satu proyek pengembangan paling menarik adalah pencetakan aditif implan. Di bidang ini Rosatom mengerjakan seluruh rantai: dari produksi serbuk, pengembangan perangkat lunak, hingga produk akhir dan sterilisasi. Bersama Universitas Kedokteran Negeri Pertama Moskow (Sechenov), NIITFA menyelesaikan proyek pembuatan implan dengan pelapisan osteotropik. Pelapisan yang meningkatkan kemampuan integrasi ini sudah berhasil dibuat. Hasil proyek tersebut akan menjadi dasar investasi dalam pencetakan aditif untuk produk individual maupun berseri. Saat ini, model keuangan dan ekonomi sedang dihitung.

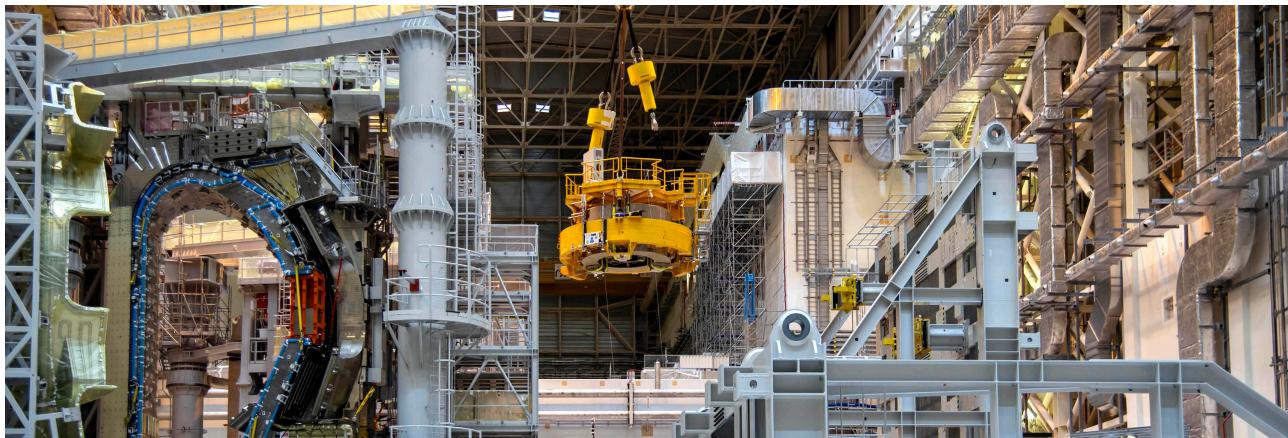
NIITFA juga mengembangkan arah mutakhir lain: biofabrikasi jaringan dan organ. Para peneliti telah berhasil menumbuhkan padanan pembuluh darah kelinci dalam biofabrikator dan berhasil mengimplantasikannya ke arteri femoralis hewan. Teknologi seperti ini di masa depan memungkinkan penggantian jaringan bahkan organ pada pasien. Pekerjaan terus berlangsung; para ilmuwan berharap menampilkan hasil baru pada Februari 2026 di Forum Teknologi Masa Depan.

### Rencana Luar Angkasa

NIITFA juga terus mengembangkan instrumentasi nuklir. Institut memproduksi konsentrometer boron, yaitu perangkat untuk mengukur konsentrasi boron, yang juga akan dimodernisasi sesuai permintaan pelanggan India dan Rusia. Para spesialis sedang mempertimbangkan pemindahan unit pemrosesan sinyal dari zona panas ke lemari terpisah. Selain itu institut berencana mengembangkan topik RTG (generator termoelektrik radioisotop), yang akan sangat dibutuhkan seiring pengembangan lebih lanjut Jalur Laut Utara serta eksplorasi Bulan dan Mars.

# Fusi Nuklir: Menuju Energi Praktis

Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA) telah menerbitkan ulasan "Fusi Nuklir 2025", yang menyoroti proyek-proyek kunci tren dalam situasi global, teknologi, kerangka hukum, strategi, serta penilaian finansial pertama mengenai biaya dan dampak fusi nuklir terhadap energi dan ekonomi dunia. Tren terpenting saat ini adalah pergeseran dari penelitian ilmiah menuju pembangunan dan penerapan praktis. Rusia, salah satu pemimpin global dalam fusi nuklir, secara aktif membentuk arah ini melalui partisipasi dalam proyek internasional dan pengembangan teknologi nasional.



## Tren Utama

"Kita kembali menjadi saksi perubahan pesat di bidang yang berkaitan dengan energi fusi nuklir. Apa yang sebelumnya dianggap murni penelitian eksperimental dengan prospek jangka panjang, kini semakin dipandang sebagai elemen fundamental strategi energi nasional dan rencana pengembangan industri," ujar Direktur Jenderal IAEA Rafael Grossi dalam kata pengantar laporan tersebut.

Tren utamanya meliputi: negara-negara mengesahkan strategi nasional di bidang fusi nuklir; perusahaan memilih lokasi untuk stasiun pembangkit dan merancang solusi generasi pertama; menurut IAEA, lebih dari 160 instalasi fusi saat ini sedang direncanakan, dibangun, atau dioperasikan di seluruh dunia. Otoritas regulasi menerbitkan pedoman, program khusus di bidang fusi nuklir kini berlaku di hampir 40 negara. Konsumen akhir mulai membahas perjanjian pembelian listrik; perusahaan energi membentuk aliansi strategis dengan pengembang teknologi fusi; dan para pelaku industri besar (otomotif, energi konvensional, kedirgantaraan, dan layanan digital) memasukkan teknologi fusi ke dalam portofolio jangka panjang mereka. Volume investasi swasta di sektor ini telah melampaui 10 miliar dolar AS.

"Bersatunya pemikiran ilmiah, kepentingan komersial, dan sumber daya politik menandai perubahan bersejarah: energi fusi memasuki fase

baru, yaitu penerapan dalam kondisi nyata," lanjut Rafael Grossi.

Pada 2024 IAEA membentuk Kelompok Fusi Energi Global, yang mencakup organisasi pemerintah dan swasta, lembaga penelitian, institusi pendidikan, dan regulator. Tugas utama kelompok ini adalah berbagi pengalaman, membangun komunikasi, dan memperkuat koordinasi internasional.

## Kemajuan dalam Fusi Termonuklir Terkendali

Proyek fusi utama dunia adalah ITER (Reaktor Eksperimental Fusi Internasional). Rusia adalah penggas sekaligus peserta kunci proyek ini. Spesialis Rusia saat ini tengah mempersiapkan pembuatan panel dinding pertama dari tungsten (sebelumnya mereka berencana membuatnya dari berilium) dan mengembangkan teknologi untuk melapisinya dengan boron karbida, yang seharusnya mencegah masuknya kotoran ke dalam plasma. Lembaga-lembaga ilmiah Rusia merencanakan uji siklik termal dengan berkas elektron serta pengujian kualitas pelapisan melalui iradiasi gumpalan plasma impulsif. Penelitian ini sangat penting bagi ITER karena secara langsung menentukan masa depan proyek. Selain itu Rusia sepenuhnya memenuhi kewajiban pengadaan peralatan dalam lingkup tanggung jawabnya.

Laporan IAEA juga mencantumkan proyek fusi yang sedang berjalan di berbagai negara: JT-60SA

(Jepang-UE), EAST (Tiongkok), SPARC dan NIF (AS), W7-X (Jerman), dan lainnya. Eksperimen pada instalasi tersebut telah menghasilkan capaian penting, termasuk rekor suhu dan waktu penahanan plasma.



## Strategi Nasional

Laporan IAEA mencatat bahwa dalam setahun terakhir banyak negara telah memperbarui strategi fusi nasional mereka, yaitu tidak lagi memposisikan fusi sekadar sebagai agenda riset, melainkan sebagai komponen kebijakan energi, industri, dan hubungan internasional. "Hal ini mencerminkan pengakuan yang semakin luas terhadap kelayakan praktis produksi energi berbasis fusi. Dengan peluang yang semakin terbuka, pemerintah mengalokasikan investasi dan merumuskan kebijakan untuk mendukung penerapan energi fusi pada masa mendatang," kata para penulis laporan.

Di Rusia, dalam kerangka Proyek Nasional "Teknologi Atom dan Energi Baru", tengah dijalankan proyek federal "Teknologi Energi Fusi". Tujuan utamanya adalah mengembangkan teknologi dasar energi fusi masa depan dan menyediakan landasan penelitian yang diperlukan.

## Rusia

Di Rusia beroperasi beberapa instalasi fusi, antara lain tokamak T-15MD, T-11M, serta tokamak sferis "Globus-M2".

Para ilmuwan Rusia telah menyelesaikan desain awal tokamak generasi baru, yaitu Tokamak dengan Teknologi Reaktor (TRT), yang pembangunannya direncanakan dimulai dalam beberapa tahun ke depan. Proyek TRT, yang berbasis pada pengalaman nasional selama puluhan tahun dalam fusi nuklir dengan magnetic confinement, diharapkan menjadi fondasi penelitian nasional yang berkontribusi pada riset dan pengembangan global di bidang fusi nuklir. TRT diharapkan memungkinkan eksperimen fisika

plasma, pengujian material yang ditingkatkan, serta integrasi penuh ke dalam kolaborasi penelitian internasional.

## Dasar Hukum

"Belum ada definisi global yang disepakati mengenai pembangkit listrik tenaga fusi, namun banyak yurisdiksi mengakui perlunya kerangka regulasi yang jelas untuk perangkat fusi yang ditujukan untuk menghasilkan listrik atau panas dalam skala komersial," demikian disebutkan dalam ulasan IAEA.

Negara-negara mempelajari secara aktif pendekatan regulasi dalam bidang fusi. Beberapa di antaranya telah menerapkan ketentuan hukum untuk instalasi fusi yang digunakan untuk penelitian. Regulasi ini menjadi dasar dan preseden dalam pembentukan kerangka hukum yang nantinya dapat diterapkan pada pembangkit listrik tenaga fusi, baik secara langsung maupun setelah penyesuaian yang diperlukan.

Perubahan dalam peraturan Rusia, kemungkinan karena keterbatasan waktu persiapan laporan, tidak tercakup dalam ulasan IAEA. Pada 1 Agustus Presiden Rusia menandatangani Undang-Undang Federal No. 342-FZ yang merupakan amandemen terhadap Undang-Undang "Pemanfaatan Energi Atom". Dengan amendemen ini, prinsip dan dasar regulasi yang mengatur penggunaan energi atom juga diperluas ke instalasi fusi yang sedang dirancang maupun beroperasi, termasuk instalasi yang mengandung bahan nuklir, bahan non-nuklir khusus, serta zat radioaktif yang digunakan untuk reaksi fusi inti atom ringan. Amendemen ini akan mulai berlaku pada 1 Januari 2027.



## Superkonduktor Suhu Tinggi

Sebuah bagian khusus dalam ulasan IAEA didedikasikan untuk superkonduktor suhu tinggi (HTS). "Dengan memungkinkan pembangkitan medan magnet yang lebih kuat dan desain perangkat yang lebih kompak, material HTS membuka peluang baru untuk mempercepat pengembangan teknologi

fusi dan menciptakan desain yang layak secara ekonomi," ujar para penulis laporan. Ulasan tersebut juga menyoroti tantangan utama dalam pembuatan dan penggunaan magnet HTS: medan magnet yang lebih kuat meningkatkan beban pada sistem elektromagnetik, sementara geometri yang lebih kompak memperbesar pengaruh fluks panas plasma pada permukaan bagian dalam instalasi jika tidak disertai langkah kompensasi khusus. Meski demikian, jumlah proyek pemerintah dan swasta yang memanfaatkan magnet HTS untuk mengurangi ukuran perangkat, menurunkan biaya konstruksi, serta mempercepat pengembangan terus meningkat.

### Dampak Teknologi Fusi terhadap Energi dan Ekonomi

Teknologi fusi telah berkembang ke tingkat yang memungkinkan penilaian biaya pembangkit listrik tenaga fusi dilakukan di sejumlah negara. Dalam ulasan IAEA dikutip bagian dari laporan *The Role of Fusion Energy in a Decarbonized Electricity System*, yang disusun oleh para ahli Inisiatif Energi dari Institut Teknologi Massachusetts (MIT) bersama Pusat Studi Plasma dan Fusi MIT, kemudian diadaptasi untuk publikasi IAEA.

Para peneliti mengakui bahwa biaya pembangkit listrik fusi di masa mendatang sulit ditentukan, sehingga mereka menilai dampak berbagai asumsi biaya, termasuk kurva pembelajaran. Mereka menggunakan estimasi biaya modal per kW kapasitas terpasang, yang mencerminkan biaya pembangkit listrik fusi di Amerika Serikat. Mereka mencatat bahwa biaya ini akan bervariasi di negara lain dan akan bergantung pada harga listrik dan tenaga kerja, serta tren investasi modal.

Dalam skenario dasar (US\$8000/kW), produksi listrik berbasis fusi diproyeksikan meningkat dari 2 TWh pada 2035 menjadi 375 TWh pada 2050 dan mencapai 25.000 TWh pada 2100. Pangsa fusi dalam produksi listrik global pada skenario dasar diperkirakan mencapai 15% pada 2075 dan 27% pada 2100.

Para peneliti juga memodelkan potensi manfaat ekonomi dari penggunaan energi fusi: "Dibandingkan skenario dekarbonisasi tanpa energi fusi, PDB global kumulatif meningkat 0,4% dalam skenario dasar (dengan modal US\$8000/kW pada 2050) dan 0,9% apabila biaya turun menjadi US\$5600/kW. Hasil ini menunjukkan bahwa investasi dalam pengembangan dan penerapan teknologi fusi dapat memberikan keuntungan bagi ekonomi global serta membantu pencapaian tujuan dekarbonisasi abad ini."

# Dialog di Semua Tingkatan

Interaksi Indonesia dengan Rosatom telah meluas di berbagai bidang, mulai dari kerja sama bisnis hingga hubungan sosial budaya. Para pakar Rusia dan Indonesia berpartisipasi dalam ASEAN Energy Business Forum di Malaysia, di mana mereka membahas peran energi nuklir dalam pengembangan energi regional. Selain itu, tim Indonesia juga memenangkan turnamen memancing internasional yang diselenggarakan oleh Rosatom.



Pada ASEAN Energy Business Forum 2025 (AEBF 2025) yang berlangsung pada Oktober di Kuala Lumpur, Rosatom dan ASEAN Centre for Energy (ACE) mengadakan sesi pleno bersama berjudul "Peran Energi Nuklir dalam Transisi Energi Negara-Negara ASEAN". Perwakilan Malaysia, Indonesia, Filipina, Turki, serta organisasi internasional membahas implementasi program nuklir nasional.

"Teknologi nuklir modern, yang memungkinkan pembangunan PLTN berkapasitas besar maupun Reaktor Modular Kecil (SMR), baik darat maupun terapung, dapat menjadi solusi yang tepat bagi negara-negara ASEAN. Teknologi ini mampu memberikan manfaat signifikan sekaligus mendorong pertumbuhan industri dan ilmu pengetahuan lokal," ujar Wakil Direktur Jenderal Rosatom untuk rekayasa mesin dan solusi industri, Andrei Nikipelov, saat sesi berlangsung. Ia menambahkan bahwa bagi negara kepulauan dan pesisir, pembangkit listrik tenaga nuklir terapung sangat cocok sebagai langkah awal menuju pembentukan sektor nuklir nasional, karena dapat ditempatkan di pantai atau di dekat infrastruktur pelabuhan yang ada.

Dalam forum tersebut juga dilakukan penandatanganan nota kesepahaman antara ASEAN Centre for Energy dan Rosatom International Network. Dokumen ini mencakup pengembangan kerja sama bilateral dalam penggunaan energi nuklir untuk tujuan damai, termasuk peningkatan kesadaran publik mengenai teknologi nuklir, pengembangan kapasitas ilmiah dan SDM, peningkatan infrastruktur, serta pelaksanaan

penelitian bersama.

Stand pameran Rosatom di forum tersebut menjadi salah satu yang paling diminati para delegasi. Di sana ditampilkan berbagai solusi energi nuklir yang relevan bagi kawasan Asia Tenggara. Model pembangkit listrik tenaga nuklir terapung dari Rusia menjadi salah satu objek yang paling menarik perhatian.

## Memancing Ala Nuklir

Tim Indonesia meraih posisi kedua dalam International Fishing Tournament 2025 yang diselenggarakan oleh Rosatom. Kompetisi berlangsung di Turki, dekat lokasi pembangunan PLTN Akkuyu yaitu pembangkit nuklir pertama di negara tersebut. Turnamen diikuti 14 peserta dari tujuh negara mitra Rosatom, baik yang sedang melaksanakan maupun merencanakan proyek energi nuklir, serta jurnalis dan pakar.

Pemenang turnamen adalah tim dari Hungaria dengan tangkapan 6,9 kg. Para pemancing Indonesia dari Kendari (Sulawesi Tenggara), Aiptu Hamza Basri dan Mulyadi Umar, menangkap 6,5 kg ikan, meraih medali perak. Di posisi ketiga adalah tim Mesir dengan hasil 4,7 kg.

"Turnamen ini menunjukkan bahwa teknologi nuklir dapat berjalan seiring dengan pelestarian lingkungan. Gagasan utamanya adalah keamanan dan keberlanjutan ekosistem," ujar Mulyadi Umar.



Saat penimbangan ikan, spesialis pengawasan radiasi dari perusahaan Akkuyu Nükleer A.Ş. melakukan pengukuran dosis menggunakan peralatan khusus, yang mengonfirmasi bahwa ikan tersebut aman.

"Turnamen memancing internasional ini adalah kesempatan untuk menunjukkan kepedulian kami terhadap lingkungan dalam pelaksanaan proyek nuklir berskala besar. Penting bagi kami agar mitra internasional melihat secara langsung pendekatan kami yang bertanggung jawab terhadap kelestarian ekosistem. Turnamen ini juga menunjukkan bagaimana pengembangan infrastruktur di sekitar PLTN dapat mengubah wilayah menjadi tempat yang nyaman untuk hidup, istirahat, dan pariwisata, menciptakan peluang baru bagi generasi penduduk setempat," ujar Wakil Direktur Jenderal untuk Komunikasi Rosatom International Network, Aleksandra Yustus.

Setelah turnamen, para peserta mengunjungi lokasi pembangunan PLTN Akkuyu. Para tamu melihat terminal kargo laut "Vostochny", pusat pelatihan operasi pembangkit, serta berkomunikasi dengan para insinyur Turki.

Dengan demikian, kerja sama antara Rosatom dan mitra Indonesia berkembang secara aktif di berbagai tingkat. Pada tingkat resmi melalui diskusi mengenai proyek energi tertentu. Pada tingkat publik melalui dialog terbuka dan penyebarluasan pengetahuan tentang energi nuklir.