

## ROSATOM NEWSLETTER

### 01.

#### ARTIKEL

Di ITER Dipersiapkan Pengujian Kapal Pemecah Es dengan Nama Pahlawan Lahir pada Hari yang Sama



### 02.

#### TREN

Atom Bertumbuh, tetapi Tidak Membesar

### 03.

#### ARTIKEL DAERAH

**Indonesia.** Arktik Menyatukan Benua



# Di ITER Dipersiapkan Pengujian

Pada 17 November, ke lokasi pembangunan Reaktor Termonuklir Eksperimental Internasional (ITER) telah tiba dari Rusia stand uji pertama dari empat stand uji yang akan dipasok. Di dalamnya, dalam kondisi yang dibuat sedekat mungkin dengan kondisi operasi nyata, akan diuji port plug, yaitu perangkat untuk menempatkan kompleks diagnostik dan sistem teknis.



Stand uji ini berupa ruang vakum dari baja dengan berat hampir 30 ton dan volume 40 m<sup>3</sup>, dilengkapi sistem vakum, sistem pemanas, serta sistem kendali dan pemantauan. Secara keseluruhan, sesuai perjanjian yang ditandatangani pada tahun 2011, pihak Rusia memproduksi dan memasok empat stand uji semacam itu. Perusahaan pembuatnya adalah Grup Perusahaan Rekayasa Mesin dan Instrumenasi (GKMP). GKMP memproduksi peralatan untuk fusi termonuklir, kompleks kriogenik dan fasilitas uji termovakum, serta melakukan pengujian perangkat yang kompleks.

"Stand uji ini adalah salah satu sistem paling rumit dan paling berintensitas ilmu pengetahuan di dalam area tanggung jawab kami dalam proyek ini. Untuk merancang dan membuatnya, para pemasok kunci kami harus mengembangkan dan menerapkan solusi inovatif terdepan. Kepada Rusia dipercayakan pembuatan seluruh instalasi, dan hal ini merupakan hasil dari pengalaman serta kepemimpinan teknologi kami", ujar Direktur Pusat Proyek ITER (bagian dari Rosatom) Anatoly Krasilnikov dalam upacara resmi menyambut kedatangan stand uji tersebut.

## Pengujian Diperlukan

Di dalam ruang stand uji akan diperiksa seluruh 46 port plug yang diproduksi oleh negara-negara mitra proyek. Di dalamnya akan diciptakan kondisi vakum tinggi dan temperatur tinggi untuk melakukan uji vakum, uji termal dan uji fungsional. Secara khusus, direncanakan tiga siklus pengujian dengan perubahan temperatur dari 20 hingga 240 °C. Pada setiap tahap akan dilakukan uji kebocoran helium

untuk mengonfirmasi kekedapan sistem.



Para spesialis Rusia akan ikut serta dalam pekerjaan komisioning stand uji di lokasi ITER. "Kami bertanggung jawab atas supervisi teknis perakitan stand uji beserta seluruh subsistemnya dan atas pelaksanaan pengujian integral yang komprehensif", jelas kepada surat kabar «Strana Rosatom» Direktur Kantor Proyek ITER di GKMP, Olesya Solovyova. GKMP pada tahun ini telah memulai produksi stand uji kedua. Direncanakan stand tersebut akan selesai pada musim gugur 2026. Setelah itu akan dilakukan uji pabrik, dan pada awal musim dingin stand itu akan dikirim ke Prancis. Stand uji ketiga dan keempat akan dikirim sebelum akhir tahun 2029, demikian tugas yang ditetapkan oleh Organisasi ITER Internasional.

## Kontribusi Rusia

Wakil Direktur Jenderal ITER untuk konstruksi, Sergio Orlandi, sangat mengapresiasi kontribusi pihak Rusia: "Sebagai pimpinan proyek pembangunan instalasi ini, saya sangat senang bahwa pengiriman stand uji pertama untuk pengujian port plug dari Badan ITER Rusia telah terlaksana. Kompleks ini merupakan contoh mencolok dari tingginya kemampuan industri Federasi Rusia, yang memastikan penyelesaian proyek tepat waktu, dengan kualitas yang dipersyaratkan dan dalam batas anggaran. Saya ingin menyampaikan terima kasih khusus kepada para spesialis Federasi Rusia yang melakukan pengawasan profesional pada semua tahap perancangan, pengadaan dan perakitan stand uji".

Sebelumnya, perusahaan-perusahaan nuklir Rusia telah memasok ke lokasi pembangunan ITER superkonduktor, sebuah kumparan medan poloidal dan empat kompleks gyrotron. Produksi komponen-komponen lain terus berlanjut. Pengiriman peralatan unik buatan Rusia dilakukan tepat waktu, sesuai dengan jadwal pembangunan reaktor. Secara keseluruhan, lembaga dan perusahaan Rusia ditugasi untuk membuat dan memasok 25 sistem berteknologi tinggi bagi fasilitas fusi termonuklir masa depan ITER.

ITER adalah proyek reaktor termonuklir eksperimental internasional generasi baru pertama di dunia. Lokasi pembangunannya terletak di dekat Marseille (Prancis). Tujuan proyek ini adalah untuk mendemonstrasikan bahwa penggunaan energi fusi termonuklir untuk tujuan damai secara ilmiah dan teknologi dapat direalisasikan, serta untuk menguji proses-proses yang terkait dengannya. Penguasaan praktis fusi termonuklir akan memungkinkan umat manusia memperoleh pasokan energi untuk ribuan tahun ke depan.

Rusia termasuk di antara peserta proyek ITER bersama Uni Eropa, Tiongkok, India, Jepang, Korea Selatan dan Amerika Serikat. Fungsi Badan ITER Nasional Rusia, yang bertanggung jawab atas pemenuhan kontribusi Rusia dalam bentuk barang dan pekerjaan dalam proyek ini, dijalankan oleh Pusat Proyek ITER, sebuah lembaga swasta di bawah Rosatom.

# Kapal Pemecah Es dengan Nama Pahlawan

Di Galangan Kapal Baltik telah dilakukan peletakan lunas untuk "Stalingrad", kapal pemecah es bertenaga nuklir ketujuh dari Proyek 22220. Setelah diserahkan untuk dioperasikan, kapal ini akan menjadi kapal kesembilan dalam armada "Atomflot" Rusia. Kapal pemecah es seperti ini memiliki karakteristik yang unik, misalnya mampu memecahkan es hingga ketebalan 3 m.



Kapal pemecah es ini dinamai untuk menghormati kota Stalingrad, yang sekarang bernama Volgograd. Di kota ini dan sekitarnya sejak 17 Juli 1942 sampai 2 Februari 1943 berlangsung Pertempuran Stalingrad, salah satu pertempuran umum terbesar dalam Perang Dunia II antara Tentara Merah Soviet dan Wehrmacht Jerman yang berakhir dengan kemenangan Uni Soviet.

Upacara peletakan lunas kapal pemecah es tersebut dikaitkan dengan awal Operasi Uranus. Pada 19 November 1942 Tentara Merah Soviet di Stalingrad memulai serangan balasan.

"Saya yakin kapal pemecah es baru 'Stalingrad' akan dengan layak menyandang nama yang membanggakan ini. Bekerja dalam kondisi Arktik yang keras dan membuka jalan di antara es, kapal ini akan menjadi salah satu simbol bakat, kekuatan dan energi kreatif bangsa kami, serta kemampuan rakyat kami untuk menetapkan dan mewujudkan rencana paling berani dan tetap tegar pada masa yang paling sulit," ujar Presiden Rusia Vladimir Putin yang berpidato melalui video pada upacara peletakan lunas kapal bertenaga nuklir tersebut.

"Presiden telah menugaskan kami tujuan baru, yaitu membangun Koridor Transportasi Transarktik berbasis Rute Laut Utara. Ini tugas berskala sangat besar, berskala planet. Penyelesaiannya akan memperkuat kepemimpinan Rusia, menjamin pelaksanaan proyek nasional di zona lintang tinggi

dan meletakkan dasar bagi kedaulatan logistik Federasi Rusia," kata Direktur Jenderal Rosatom Aleksey Likhachev ketika menyampaikan sambutan kepada presiden.

Dalam upacara tersebut, peserta Pertempuran Stalingrad Pavel Vinokurov yang pada bulan November genap berusia 103 tahun menyerahkan sebuah kapsul berisi tanah dari Volgograd kepada Aleksey Likhachev. Kapsul ini akan disimpan di kapal pemecah es.



## Merah di atas Putih

Desain "Stalingrad" dibuat dalam nada merah dan putih. Sisi samping bangunan atas berwarna putih, pada sisi depan terdapat panel hias. Di atas latar belakang merah tampak bintang putih kota pahlawan, dan di dalamnya siluet merah patung "Ibu Pertiwi Memanggil".

Solusi warna merah putih pada bangunan atas "Stalingrad" juga memiliki fungsi praktis. Dari kejauhan hal ini memudahkan untuk membedakannya dari kapal pemecah es lain dari seri yang sama, yaitu "Leningrad", yang sedang dibangun di Galangan Kapal Baltik dan memiliki fasad bangunan atas akomodasi berwarna biru putih.

"Ini kebahagiaan yang luar biasa bisa menciptakan rupa sebuah kapal pemecah es bertenaga nuklir. Fakta bahwa 'Stalingrad' diletakkan pada tahun peringatan 80 tahun Kemenangan dan industri nuklir memberikan bobot tambahan bagi proyek ini," ujar perancang desain dan kepala Departemen Desain dan Tata Artistik lembaga swasta "Pusat Komunikasi Rosatom" Vladimir Ruzhnikov.

### Lebih Banyak Kapal Pemecah Es

Pada saat peletakan lunas "Stalingrad", tingkat kesiapannya mencapai 4 persen, tiga seksi pertama telah dirakit. Kapal pemecah es ini sedikit berbeda dari pendahulunya karena seiring bertambahnya pengalaman, setiap kapal yang dibangun berikutnya menerima sejumlah penyempurnaan. Namun fitur utama kapal Proyek 22220 tetap dipertahankan, yaitu kemampuan dua mode kedalaman, penggunaan dua instalasi reaktor RITM-200 serta sistem propulsi listrik arus bolak-balik dengan motor penggerak baling-baling induksi. Kapal pemecah es seperti ini mampu menembus es hingga ketebalan 3 m.

Saat ini di Galangan Baltik sedang dibangun dua kapal pemecah es bertenaga nuklir Proyek 22220 lainnya, yaitu "Chukotka" dan "Leningrad".

"Chukotka" sudah dipersiapkan untuk uji sandar. Pada bulan November, Pabrik Mesin Arsenal yang merupakan bagian dari Rosatom menyelesaikan pembuatan teras aktif untuk kedua instalasi reaktor kapal pemecah es tersebut lebih cepat dari jadwal kontrak. Pada bulan Oktober di "Chukotka" dipasang blok besar bangunan atas yang terdiri atas sepuluh seksi dengan berat total lebih dari 200 ton, tempat akan ditempatkan ruang untuk unit pembangkit listrik bantu kapal pemecah es. Pada bulan yang sama juga dipasang blok besar lengkap yang terdiri dari beberapa seksi bangunan atas akomodasi dengan berat sekitar 300 ton. Setelah pemasangan konstruksi badan kapal selesai, para spesialis Galangan Kapal Baltik akan beralih ke penataan ruang dalam, yaitu kabin, ruang perwira, ruang makan, area rekreasi dan lain-lain.

Di "Leningrad" pada bulan November telah dipasang generator diesel cadangan di sisi kiri kapal, sebuah unit dengan berat 38,5 ton dan daya 2.000 kW. Selanjutnya akan dipasang generator tersebut di sisi kanan. Tingkat kesiapan konstruksi kapal diperkirakan 20 persen.

Berkat penerapan teknologi konstruksi blok besar, waktu pembangunan kapal pemecah es bertenaga nuklir dapat dipangkas. Jika kapal pemecah es pertama dalam seri ini dibangun selama tujuh tahun, maka kapal berikutnya "Yakutia" kurang dari lima tahun. Pembangunan "Chukotka" direncanakan selesai dalam lima tahun, sedangkan "Leningrad" dan "Stalingrad" dalam empat setengah tahun.

Selain itu, di galangan kapal "Zvezda" pembangunan superkapal pemecah es "Rossiya" Proyek 10510 terus berlanjut dan direncanakan akan mulai dioperasikan pada tahun 2029.

Kapal pemecah es bertenaga nuklir menjamin pelayaran aman kapal-kapal dagang di antara es pada Rute Laut Arktik dalam Koridor Transportasi Transarktik, dari Saint Petersburg sampai Vladivostok.

Saat ini armada kapal bertenaga nuklir Rusia mencakup delapan kapal pemecah es, empat di antaranya merupakan kapal terbaru Proyek 22220, yaitu "Arktika" yang mulai dioperasikan pada tahun 2020, "Sibir" pada 2021, "Ural" pada 2022 dan "Yakutia" pada 2024.

# Lahir pada Hari yang Sama

Pada tahun 2025 dua perusahaan Divisi Rekayasa Mesin Rosatom, yaitu OKBM Afrikantov (berlokasi di Nizhny Novgorod) dan Biro Desain Pusat Rekayasa Mesin (di Saint Petersburg), pada hari yang sama, 27 Desember, merayakan ulang tahun ke-80. OKBM merancang, memproduksi dan menguji instalasi reaktor untuk kapal pemecah es, pembangkit listrik tenaga nuklir daya kecil di darat maupun terapung, serta reaktor neutron cepat. Biro Desain Pusat mengkhususkan diri pada unit pompa sirkulasi utama.



## OKBM Afrikantov

Pada tahun 1945, dalam struktur Pabrik No. 92, dibentuk biro desain khusus untuk merancang mesin-mesin khusus (OKB) guna menyelesaikan tugas-tugas dalam proyek nuklir Soviet.

Pada tahun-tahun pertama, para spesialisnya bekerja pada perolehan bahan bakar nuklir dan pencarian teknologi penanganannya. Sejak 1945, OKB terlibat dalam pengembangan mesin difusi gas untuk pengayaan uranium.

Salah satu bidang kegiatan terpenting perusahaan adalah instalasi reaktor kapal. Pesanan pertama yang diterima OKB pada tahun 1953 adalah merancang instalasi pembangkit uap bertenaga nuklir untuk kapal pemecah es "Lenin". Pekerjaan ini diselesaikan pada tahun 1955. Dari 1975 hingga 2006, untuk sembilan kapal pemecah es bertenaga nuklir, para perancang perusahaan mengembangkan dan menerapkan tiga modifikasi instalasi reaktor, yaitu OK-900A, KLT-40 dan KLT-40M.

Sekarang OKBM menjadi perancang utama dan pemasok paket lengkap instalasi reaktor untuk kapal pemecah es Proyek 22220 dan 10510. Untuk kapal-kapal pertama dari Proyek 22220, OKBM memasok instalasi reaktor RITM-200, sedangkan untuk kapal pemecah es "Rossiya" Proyek 10510 dipasok instalasi RITM-400 dengan daya ganda.

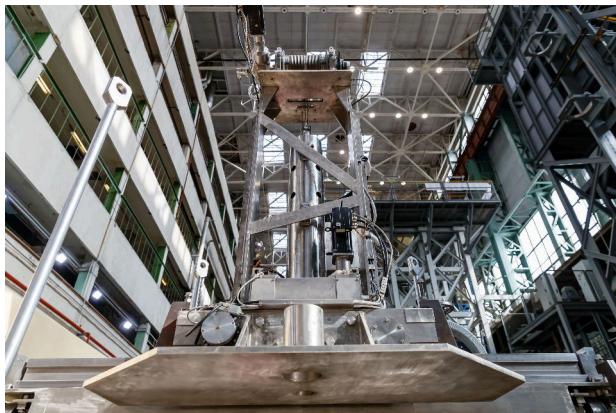
Rancangan instalasi reaktor kapal terbukti sangat berhasil sehingga mulai digunakan juga untuk

pembangkit listrik tenaga nuklir berdaya kecil. Untuk pembangkit listrik tenaga nuklir terapung pertama di dunia "Akademik Lomonosov", para perancang OKBM membuat dua instalasi reaktor KLT-40S. Untuk blok-blok energi terapung yang akan beroperasi di Chukotka, para spesialis OKBM mengembangkan instalasi turbin uap yang, berbeda dengan KLT-40S, hanya akan menghasilkan energi listrik. Daya listrik satu blok dibandingkan dengan PLTN terapung akan meningkat satu setengah kali, dari 77 menjadi 116 MW. Untuk pasar internasional, OKBM mengembangkan instalasi reaktor RITM-200M dengan interval yang diperpanjang antara pengisian ulang bahan bakar. Blok terapung dengan reaktor seperti ini dapat dioperasikan di negara-negara dengan infrastruktur nuklir yang masih sangat terbatas. Satu pengembangan modernisasi lainnya adalah instalasi reaktor yang lebih bertenaga, RITM-400M.

Proyek percontohan di segmen PLTN berdaya rendah darat adalah instalasi reaktor RITM-200N. Dua reaktor jenis ini akan dipasang pada sebuah pembangkit di dekat permukiman Ust'-Kuyga di Yakutia (Rusia).

Perusahaan mengerjakan pengembangan reaktor neutron cepat sejak tahun 1960. Di antaranya reaktor tenaga eksperimental-industri pertama di dunia BN-350, serta reaktor daya BN-600 dan BN-800. Proyek berikutnya adalah reaktor BN-1200M untuk unit daya kelima PLTN Beloyarsk. Pembangunannya merupakan bagian dari proyek penutupan siklus bahan bakar nuklir.

Selain itu, OKBM Afrikantov adalah perancang utama instalasi reaktor berpendingin gas suhu tinggi untuk kompleks energi-teknologi dan untuk sektor energi hidrogen.



Hingga akhir 2025, OKBM Afrikantov berencana memproduksi dan mengirimkan RITM-200 untuk kapal pemecah es bertenaga nuklir "Leningrad", menyerahkan kepada pemesan instalasi RITM-400 untuk kapal pemecah es "Lider", memasok RITM-200S untuk blok energi terapung pertama, dan ini masih jauh dari daftar lengkap pengiriman dan pekerjaan yang direncanakan.

### Biro Desain Pusat Rekayasa Mesin

Biro Desain Pusat Rekayasa Mesin juga memulai kiprahnya dari produksi peralatan utama untuk pengayaan gas-difusi. Sekarang perusahaan ini menjadi produsen kunci peralatan pompa untuk PLTN.

Unit pompa sirkulasi utama produksi Biro tersebut dipasang di lebih dari 20 PLTN di Rusia dan luar negeri.

Contoh terbaru adalah pembuatan unit pompa sirkulasi utama untuk unit daya No. 1 PLTN Kursk-2. Ini adalah unit pompa generasi baru dengan susunan satu poros, yang menggunakan air sebagai media pelumas dan pendingin komponen pompa serta motor listrik alih-alih minyak. Hal ini meningkatkan karakteristik operasi dan meningkatkan keselamatan kebakaran unit daya.

Untuk reaktor berpendingin timbal BREST-OD-300 yang sedang dibangun di Seversk, Oblast Tomsk, dalam kerangka proyek "Proryv" ("Terobosan"), para perancang dan insinyur membuat pompa unik yang dirancang untuk mengalirkan timbal cair. Masih dalam kerangka "Proryv", untuk modul fabrikasi-refabrikasi (yang juga sedang dibangun dalam proyek "Proryv") Biro memproduksi peralatan untuk lini produksi.

Sebelumnya, di perusahaan ini telah diproduksi peralatan untuk batang bahan bakar dengan bahan bakar MOX dan untuk pembuatan rakitan bahan bakar.

Selain itu, Biro mengembangkan dan memproduksi peralatan transportasi-teknologi yang dioperasikan secara jarak jauh untuk bekerja dengan bahan dan limbah radioaktif, yang digunakan di PLTN berbagai tipe di Rusia dan luar negeri.

Biro memiliki pusat uji sendiri. Ini adalah satu-satunya kompleks di Rusia untuk pengujian skala penuh peralatan pompa dalam kondisi yang meniru operasi reaktor menurut seluruh parameter utama (tekanan, temperatur, jenis pendingin). Pengujian dilakukan dalam berbagai mode, sehingga setiap penyimpangan parameter operasi dapat segera terdeteksi dan kerusakan dapat segera diatasi.

Perusahaan secara aktif menerapkan teknologi baru, seperti pengelasan terobotisasi untuk elemen peralatan pompa, sistem penglihatan mesin, dan teknologi realitas virtual.

Pada tahun 2025 Biro Desain Pusat Rekayasa Mesin telah menyelesaikan pengiriman paket peralatan kunci untuk unit daya No. 8 PLTN Tianwan dan No. 3 PLTN Xudapu. Selain itu, perusahaan juga mengirimkan peralatan pompa dan peralatan pemindahan bahan bakar untuk pembangkit listrik tenaga nuklir lainnya.

# Atom Bertumbuh, tetapi Tidak Membesar



Dalam laporan tersebut, IEA berangkat dari anggapan bahwa ketidakstabilan adalah ciri utama keadaan global saat ini dan bahwa keamanan energi adalah hal pertama yang harus menjadi perhatian.

Risiko utama yang disoroti IEA adalah gejolak dan konflik geopolitik, harga minyak yang tertahan ketika pasokan melampaui permintaan, pembatasan pasokan mineral padat kritis, ancaman siber, serta risiko produksi dan iklim. "Keputusan yang diambil para pembuat kebijakan energi akan sangat menentukan dalam mengurangi risiko-risiko ini, namun mereka harus bertindak dalam situasi yang serba tidak pasti," demikian dicatat dalam laporan tersebut.

Dunia masih mengalami defisit energi. Sektor energi, seperti sering terjadi di masa lalu, kembali berada di pusat ketegangan geopolitik modern. Dalam kondisi seperti ini, negara-negara berusaha menjamin keamanan energi dan keterjangkauan sumber daya energi, tetapi menempuh jalan yang berbeda-beda: "Sebagian negara, termasuk banyak negara pengimpor energi, melihat solusinya dalam pengembangan energi terbarukan dan peningkatan efisiensi energi. Negara-negara lain lebih banyak berfokus pada jaminan pasokan yang cukup dari jenis bahan bakar tradisional," kata para penulis laporan.

Semua jenis pembangkitan energi menunjukkan pertumbuhan: "Pada 2024, energi terbarukan untuk

Badan Energi Internasional (IEA) pada bulan November menerbitkan laporan "Proyeksi Energi Dunia" yang menyajikan tinjauan kondisi di berbagai sektor energi pada masa lalu dan sekarang, memberikan proyeksi untuk masa depan, serta menyoroti tantangan dan risiko utama. Sektor nuklir memang tumbuh, tetapi tidak secepat sektor energi lainnya.

tahun ke-23 berturut-turut kembali mencatat rekor dalam hal tambahan kapasitas terpasang. Konsumsi minyak, gas alam, dan batubara, serta produksi listrik tenaga nuklir juga mencapai level tertinggi sepanjang sejarah," demikian disebutkan dalam laporan tersebut.

Satu kecenderungan penting lain yang dicatat para analis IEA adalah menurunnya intensitas upaya pengurangan emisi, baik di tingkat nasional maupun internasional. Sejak 2019, permintaan batubara, terutama karena didorong Tiongkok, tumbuh 50% lebih cepat dibandingkan bahan bakar fosil dengan laju pertumbuhan tertinggi berikutnya, yaitu gas alam. Hal ini merupakan penyebab utama berlanjutnya peningkatan emisi yang terkait dengan sektor energi.

## Situasi Saat Ini

Sejak 2010, permintaan energi dunia meningkat lebih dari 20%. Pada 2024, permintaan ini terus tumbuh, naik 2% menjadi lebih dari 650 EJ (exa-joule). Angka ini jauh lebih tinggi dibandingkan pertumbuhan rata-rata 1,4% per tahun pada periode 2010–2023. Pada 2024, bahan bakar fosil masih memenuhi hampir 80% total permintaan energi. Pembangkit listrik tenaga angin dan surya menunjukkan pertumbuhan yang stabil, dengan produksi mendekati 700 TWh. Pembangkit listrik tenaga nuklir, yang mengalami penurunan pada awal tahun 2010-an, kemudian meningkat berkat penyambungan unit-unit baru ke

jaringan listrik dan pengaktifan kembali unit-unit yang sebelumnya dimatikan. Dalam laporan tersebut, dinamika ini disebut sebagai "pertumbuhan kuat", namun jika dibandingkan dengan sumber energi lain, volume pasokan listrik dari tenaga nuklir masih rendah, hanya lebih tinggi daripada biomassa.

Peningkatan kapasitas terpasang pembangkit nuklir dunia juga terlihat sangat moderat, rata-rata hanya sekitar 8 GW per tahun selama 10 tahun terakhir. Sebagai perbandingan, kapasitas terpasang pembangkit listrik tenaga surya global dalam periode yang sama meningkat sepuluh kali lipat dan pada 2024 mencapai 540 GW.

Eropa dan Amerika Serikat tidak lagi menjadi pemimpin di sektor nuklir. "Dalam beberapa tahun terakhir, pembangunan reaktor berukuran besar di Eropa dan Amerika Serikat menghadapi penundaan signifikan dan pembengkakan biaya, rata-rata mulai beroperasi delapan tahun lebih lambat dari jadwal dan biayanya 2,5 kali lebih tinggi dari perkiraan awal," demikian dinyatakan dalam laporan tersebut. Di sana juga secara singkat dicatat bahwa di Rusia, Tiongkok dan Korea, sejumlah proyek nuklir diselesaikan lebih dekat ke jadwal dan anggaran awal.

## Proyeksi untuk Sektor Energi

Seperti sudah menjadi tradisi, IEA memaparkan dalam "Proyeksi Energi Dunia" beberapa skenario kemungkinan perkembangan sektor energi global. Skenario kebijakan saat ini (SKS) memberikan uraian singkat tentang kebijakan dan regulasi yang sedang berlaku dan menyajikan penilaian hati-hati mengenai kecepatan penerapan dan integrasi teknologi energi baru dalam sistem energi. Skenario kebijakan yang dinyatakan (SKD) memasukkan keputusan kebijakan yang secara resmi telah diajukan namun belum diadopsi, serta dokumen strategis lain yang menunjukkan arah perkembangan sektor energi. Skenario ini mengasumsikan bahwa hambatan bagi penerapan teknologi baru lebih rendah daripada dalam skenario SKS. Kedua skenario ini tampaknya dinilai sebagai yang paling mungkin. Selain itu, laporan tersebut juga menyajikan skenario "Emisi Nol pada 2050" yang menggambarkan jalur penurunan emisi CO<sub>2</sub> global di sektor energi hingga mendekati nol pada 2050, serta skenario percepatan penerapan teknologi bersih untuk memasak dan penyediaan listrik.

### Skenario SKS

Menurut skenario ini, permintaan listrik akan meningkat di semua kawasan. Pertumbuhan terbesar diproyeksikan terjadi di India dan Indonesia. Diasumsikan bahwa sistem fotovoltaik surya dan

pembangkit listrik tenaga angin akan menjadi kompetitif di banyak wilayah, tetapi penerapannya akan menghadapi berbagai kendala yang memperlambat pertumbuhan. Akibatnya, penambahan kapasitas fotovoltaik surya per tahun rata-rata akan mencapai 540 gigawatt pada 2035. Angka ini kurang lebih sebanding dengan kapasitas total terpasang pada 2024. Batubara hingga 2035 akan tetap menjadi sumber pembangkitan listrik terbesar di dunia. Pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir baru akan meningkat pada 2030-an: "Di lebih dari 40 negara telah diadopsi program perluasan penggunaan energi nuklir, investasi sejak 2015 telah berlipat dua dan portofolio proyek dalam pengembangan terus tumbuh. Akibatnya, menurut proyeksi dalam kerangka skenario SKD, kapasitas nuklir global pada 2035 akan meningkat sepertiganya." Pada 2050, pertumbuhan akan melampaui 80%. Sebagai sumber pertumbuhan, analis IEA menyebut pengoperasian kembali reaktor di Jepang dan unit-unit baru di Amerika Serikat, Jepang, Korea dan Prancis.

Kalau ingin adil, pertumbuhan ini terutama akan disokong oleh unit-unit di Rusia dan Tiongkok, serta unit-unit di Eropa, Asia dan Afrika yang saat ini dibangun atau dipersiapkan untuk dibangun oleh Rosatom. Sesuai Skema Umum Penempatan Fasilitas Kelistrikan hingga 2042, di Rusia direncanakan pembangunan 38 unit daya nuklir dengan kapasitas total 29,3 GW. Dalam struktur produksi listrik di Rusia, pangsa tenaga nuklir akan naik dari 18,9% pada 2023 menjadi 24% pada 2042. Portofolio luar negeri Rosatom mencakup 41 unit berdaya besar dan kecil di 11 negara.

"Separuh dari seluruh kapasitas tenaga nuklir yang saat ini sedang dibangun di dunia berada di Tiongkok, dan pada 2030 negara ini diproyeksikan menjadi operator PLTN terbesar di dunia," demikian tetap dicatat dalam laporan.

Meskipun menurut skenario SKS energi nuklir dalam sepuluh tahun ke depan akan tumbuh kurang lebih pada tingkat yang sama dengan sumber energi lain, misalnya batubara, dalam angka absolut karena dasar awal yang rendah kapasitas terpasang pembangkit nuklir pada 2035 akan tetap menjadi yang paling kecil dibandingkan dengan sumber energi lainnya.

### Skenario SKD

Skenario ini disusun untuk mencerminkan arah utama perkembangan sistem energi, sekalipun aturan dan norma di tingkat negara belum sepenuhnya ditetapkan dalam bentuk perundang-undangan.



Sesuai skenario ini, mulai 2030-an pembangkitan berbasis sumber energi terbarukan dapat memenuhi seluruh tambahan permintaan energi dunia. Pangsa pembangkitan energi terbarukan dalam produksi listrik akan naik dari sekitar sepertiga saat ini menjadi lebih dari setengah pada 2035 dan menjadi dua pertiga pada 2050, terutama berkat tenaga surya dan angin yang dipadukan dengan baterai. Produksi listrik tenaga nuklir pada 2035 akan meningkat 40 persen, sambil mempertahankan pangsa dalam total produksi listrik di sekitar 9 persen. IEA telah merevisi proyeksi permintaan terhadap pembangkitan nuklir dalam skenario ini. Diperkirakan bahwa pada 2035 permintaan tersebut akan 4 persen lebih tinggi dibandingkan proyeksi satu tahun sebelumnya. Dari 2035 hingga 2050, jika skenario SKD terwujud, sektor tenaga nuklir akan tumbuh lagi 40 persen, tetapi tetap berada di kisaran 9 persen.

Sesuai kedua skenario tersebut, investasi di sektor tenaga nuklir pada 2035 akan meningkat karena sejumlah negara mengambil keputusan investasi final untuk pembangunan reaktor besar yang baru. Tingkat investasi akan naik sekitar 40 persen dibandingkan level saat ini menjadi lebih dari 100 miliar dolar AS per tahun dalam kerangka SKD dan sekitar 30 persen menjadi lebih dari 90 miliar dolar AS per tahun dalam kerangka SKS. Jika melihat investasi di segmen-segmen energi lainnya, menjadi jelas bahwa angka investasi di sektor nuklir masih sangat kecil. Misalnya, investasi global dalam infrastruktur jaringan listrik pada 2035 akan meningkat hingga sekitar 715 miliar dolar AS dalam skenario kebijakan saat ini dan sekitar 730 miliar dolar AS dalam skenario kebijakan yang dinyatakan.

## Beberapa Kesimpulan

Gambaran situasi dan skenario yang dinilai paling mungkin dalam laporan IEA menunjukkan bahwa pembangkitan listrik tenaga nuklir, yang merupakan sektor berteknologi tinggi dan menjawab tuntutan akan keberlanjutan, rendah karbon dan produksi listrik yang stabil, justru menempati pangsa terkecil di antara semua jenis pembangkitan listrik.

Dengan mempertimbangkan pertumbuhan konsumsi listrik dan, secara umum, energi di dunia, sektor tenaga nuklir harus "berlari sangat cepat" hanya untuk mempertahankan pangsa saat ini, sekitar 9 persen, dalam bauran energi global.

Untuk mencapai hasil yang lebih tinggi, sektor ini harus "berlari lebih cepat lagi". Untuk itu dibutuhkan keputusan politik yang tepat, teknologi, investasi dan SDM.

Untungnya, iklim investasi perlahan mulai berubah ke arah yang lebih baik. Pada akhir November, Bank Pembangunan Asia (ADB) mengubah sejumlah norma dan aturannya sehingga memungkinkan bank tersebut berinvestasi dalam proyek tenaga nuklir. ADB juga menandatangani perjanjian dengan IAEA tentang kerja sama dalam mendukung negara-negara di kawasan Asia Pasifik yang mengkaji kemungkinan pemanfaatan energi nuklir sebagai bagian dari strategi energi dan pembangunan mereka. Sebelumnya, keputusan serupa telah diambil Bank Dunia.

Masih ada harapan bahwa keputusan dan perjanjian ini akan diikuti langkah-langkah serupa lainnya. Investasi seperti ini akan memungkinkan pembangunan unit-unit daya baru, berkapasitas baik besar maupun kecil, di berbagai belahan dunia, menjamin pasokan listrik yang andal bagi negara-negara, menyediakan pekerjaan menarik dengan gaji tinggi bagi masyarakat, dan mendorong perkembangan ilmu pengetahuan serta teknologi.

# Arktik Menyatukan Benua

Keikutsertaan dalam ekspedisi Arktik internasional "Pemecah Es Pengetahuan 2025" (Icebreaker of Knowledge 2025) yang diselenggarakan oleh Rosatom menjadi pengalaman yang tak terlupakan bagi anak SMA Priya Wicaksono dan profesor Topan Setiadipura dari Indonesia. Mereka bercerita bagaimana mereka bisa menjadi peserta proyek ini, bagaimana jalannya ekspedisi, dan kesan paling kuat yang mereka dapatkan.



Priya Wicaksono mengisahkan bahwa ia mengetahui tentang ekspedisi "Pemecah Es Pengetahuan 2025" secara tidak sengaja. Ia dan ayahnya sedang mencari program pendidikan untuk belajar melalui internet. "Saya memutuskan untuk mendaftar karena terdengar seperti mimpi yang menjadi kenyataan," ujar Priya. Tahap seleksinya, menurut dia, tidak terlalu sulit. "Pertama saya mengerjakan kuis dengan berbagai topik dan pada akhirnya saya membuat presentasi video tentang peran energi nuklir di Indonesia. Secara keseluruhan, dalam proses seleksi yang diuji adalah pengetahuan dan pemahaman saya, karena topiknya mencakup spektrum luas berbagai bidang ilmu alam dan tentu saja energi nuklir," jelas Priya.

Topan Setiadipura adalah Kepala Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Indonesia. "Jadi secara tidak langsung saya terlibat dalam sektor nuklir Indonesia karena saya memberikan jasa konsultasi kepada Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, otoritas pengawas nasional, serta BUMN. Sedangkan terkait 'Pemecah Es Pengetahuan 2025', saya menerima undangan dari 'Rosatom', kemungkinan besar karena keterlibatan saya sebelumnya dalam banyak kegiatan tentang energi nuklir yang diselenggarakan korporasi ini di Indonesia," tutur profesor tersebut.

## Pengetahuan dan Persahabatan

Ekspedisi Arktik internasional ini dimulai pada pertengahan Agustus di Murmansk, Rusia, sebuah kota di tepi Laut Barents. Dari sana kapal pemecah

es bertenaga nuklir "50 Let Pobedy" (secara harfiah: "50 Tahun Kemenangan") berlayar menuju Kutub Utara. Di atas kapal terdapat 66 pelajar dari 21 negara, serta para pakar, yaitu ilmuwan dan pegiat sains terkenal dari berbagai bidang. "Tugas utama saya dalam ekspedisi adalah berbagi pengetahuan kepada para pelajar tentang teknologi reaktor nuklir, potensi dan risikonya," jelas Topan Setiadipura.

Di atas kapal para peserta disambut dengan program pendidikan yang sangat padat: kuliah dan lokakarya setiap hari. Mereka juga mempelajari struktur dan cara kerja kapal pemecah es serta melakukan serangkaian eksperimen ilmiah yang hanya bisa dilakukan di lintang utara. "Yang paling menginspirasi bagi saya adalah lokakarya perakitan wahana penjelajah planet. Kami bekerja dalam tim, satu kelompok merakit dan kelompok lain memprogram. Saya belajar banyak hal praktis tentang cara merakit, dan untuk percobaan pertama semuanya berjalan sangat baik," ujar Priya Wicaksono. Yang dimaksud adalah model sederhana dari platform bergerak penjelajah planet masa depan yang dirancang untuk eksplorasi geologi di berbagai benda Tata Surya. Model yang dirakit para peserta itu kemudian diuji dalam kondisi Kutub Utara.

Pengalaman terpenting bagi para pelajar juga adalah pergaulan dengan teman-teman dari negara lain, kata Priya Wicaksono. "Kenangan paling menakjubkan bagi saya adalah bahwa saya bisa berkenalan dengan begitu banyak orang berbeda di kapal dan menjalin persahabatan dengan banyak di antara mereka."

"Anak-anak memiliki bakat dan potensi yang luar biasa. Hal ini bukan hanya menyangkut kemampuan mempelajari ilmu pengetahuan dan teknologi, tetapi juga bakat di bidang lain, misalnya seni. Selain itu, tinggal dalam kondisi terisolasi selama beberapa hari menjadi pelajaran yang sangat berharga bagi mereka. Pengalaman ini membuka mata mereka terhadap betapa beragamnya dunia dan mengajarkan mereka untuk menghormati budaya serta cara berpikir satu sama lain... Menurut saya, ini adalah bekal terbesar bagi perkembangan mereka di masa depan," kata profesor Topan Setiadipura.



## Di Puncak Planet

Kulminasi ekspedisi ini adalah tibanya kapal pemecah es di Kutub Utara, titik di mana sumbu rotasi Bumi yang imajiner memotong permukaan planet di Belahan Bumi Utara. Para peserta mengaku akan mengingat hari itu seumur hidup.

"Hari itu benar-benar penuh emosi, apalagi karena saya mencapai Kutub Utara tepat pada peringatan 80 tahun Kemerdekaan Indonesia, 17 Agustus. Cakrawala Arktik tampak menakjubkan, dan kesadaran bahwa kami berada di puncak Bumi semakin menguatkan perasaan itu. Tetapi momen yang paling berkesan bagi saya adalah kesempatan untuk berenang di perairan Arktik. Di lokasi itu kedalamannya sekitar 4 km, dengan suhu kurang lebih minus 1 derajat Celsius. Entah bagaimana, di air sedingin itu, dari saat bersiap meloncat, ketika berada di dalam air, sampai setelah naik kembali, saya merasa nyaman... sama sekali tidak kedinginan. Saya rasa itu karena rasa gembira dan perasaan bahwa momen seperti ini hanya datang sekali seumur hidup," kenang Topan Setiadipura.

Bagi banyak peserta dari luar negeri, ini adalah pertama kalinya dalam sejarah negara mereka seseorang berhasil mencapai "puncak" planet ini.

## Inspirasi untuk Masa Depan

Ekspedisi ini bukan hanya memberikan emosi yang tak terlupakan, tetapi juga menjadi ajang berbagi pengetahuan, sumber inspirasi dan simbol kerja sama internasional. Bagi banyak peserta, pengalaman ini membantu menghilangkan berbagai kesalahpahaman tentang energi nuklir.

"Sebelum perjalanan, saya punya beberapa kekhawatiran tentang energi nuklir, terutama mengenai bahaya radiasi bagi manusia dan lingkungan. Pertama-tama karena saat itu pengetahuan saya tentang sektor nuklir masih terbatas. Baru dalam proses pendaftaran ekspedisi ini dan selama ekspedisi sendiri saya menjadi jauh lebih paham tentang industri nuklir. Saya mengetahui bahwa fasilitas nuklir tidak dibangun secara sembarangan, melainkan dirancang dengan sangat cermat dengan mempertimbangkan bahkan skenario keadaan darurat yang paling ekstrem, dan bahwa keselamatan selalu menjadi prioritas utama di sektor ini," ujar Priya Wicaksono.

Setelah ekspedisi, ia mulai memikirkan manfaat yang bisa diberikan energi nuklir bagi negaranya dan bagi seluruh planet. "Masa depan energi nuklir, jika digunakan untuk kebaikan umat manusia, berpotensi merevolusi sektor energi," kata Priya Wicaksono. Anak SMA ini menuturkan bahwa ekspedisi membantu dia menentukan pilihan profesi: "Saya memutuskan untuk belajar ilmu-ilmu alam, mungkin menjadi fisikawan. Saya bersyukur ekspedisi ini membantu saya mengambil keputusan."

Topan Setiadipura mengakui bahwa ia sudah lama menjadi pendukung pengembangan energi nuklir, namun keikutsertaannya dalam ekspedisi ini memperluas wawasan tentang peluang pemanfaatan teknologi radiasi untuk tujuan damai. "Pengalaman ini sesungguhnya semakin menguatkan keyakinan saya bahwa umat manusia membutuhkan energi nuklir. Dengan memanfaatkannya, kita bisa mencapai hal-hal yang sebaliknya mustahil dilakukan, misalnya sampai ke Kutub Utara hanya dalam beberapa hari. Kemungkinan ini dapat kita terapkan juga di bidang-bidang lain yang penting bagi pembangunan berkelanjutan peradaban. Lebih dari itu, seperti yang kami lihat di kapal pemecah es, dengan teknologi modern kita dapat hidup dengan aman sangat dekat dengan reaktor nuklir," simpul Topan Setiadipura.