A vertical column of five yellow downward-pointing triangles is located in the top left corner.

TALI PENOLONG SILIKON

**KOMPONEN ELEKTRONIK BARAT
DALAM JANTUNG MESIN PERANG**

A vertical column of three yellow upward-pointing triangles is located on the right side of the page.

**JAMES BYRNE, GARY SOMERVILLE, JOE BYRNE,
JACK WATLING, NICK REYNOLDS DAN JANE BAKER**

AGUSTUS 2022

A complex network of yellow lines representing a circuit board layout covers the bottom half of the page. The lines are interconnected, forming a dense web of paths. Some lines end in small yellow circles, resembling solder points or components.

Tali Penolong Silikon: Elektronika Barat di Jantung Mesin Perang Rusia

PENAFIAN

Dokumen ini disusun oleh RUSI untuk tujuan informasi semata ('Tujuan yang Diizinkan'). Meskipun segala kehati-hatian yang wajar telah dilakukan oleh RUSI untuk memastikan keakuratan materi di dalam laporan ini ('Informasi'), materi diperoleh terutama dari kerja lapangan di Ukraina dan sumber-sumber terbuka dan RUSI tidak membuat pernyataan atau jaminan apa pun sehubungan dengan Informasi.

Anda dilarang menggunakan, mereproduksi atau mengandalkan Informasi untuk tujuan apa pun selain Tujuan yang Diizinkan. Kepercayaan Anda pada Informasi adalah risiko Anda semata-mata. Jika Anda berniat menggunakan Informasi untuk tujuan lainnya (termasuk, tanpa batasan, untuk memulai proses hukum, mengambil langkah atau menolak untuk mengambil langkah atau berurusan dengan oknum atau entitas yang disebutkan), Anda harus terlebih dahulu melakukan dan mengandalkan penelitian mandiri Anda sendiri untuk memverifikasi Informasi.

Sejauh yang diizinkan oleh hukum, RUSI tidak bertanggung jawab atas kehilangan atau kerusakan dalam bentuk apa pun baik yang dapat diperkirakan maupun tidak terduga (termasuk, tanpa batasan, dalam pencemaran nama baik) yang muncul dari atau sehubungan dengan reproduksi, kepercayaan pada atau penggunaan Informasi oleh Anda atau

pihak ketiga mana pun. Rujukan-rujukan pada RUSI termasuk para direktur dan pegawainya.

Untuk laporan ini, para penulis telah memproses nama-nama perusahaan, entitas dan individu yang terekam di Rusia dan Cina. Salam beberapa contoh, nama perusahaan, entitas dan individu harus diterjemahkan atau ditransliterasikan. Semua upaya telah dilakukan untuk memastikan keakuratan dalam terjemahan/transliterasi, dan para penulis tidak menerima tanggung jawab atas kekeliruan yang tidak disengaja yang dibuat dalam hal ini.

Para penulis juga memproses sebuah kumpulan data yang besar tentang komponen mikroelektronik dengan nomor seri, yang memverifikasi keasliannya dan menempatkannya ke produsen tertentu dengan menggunakan sumber terbuka. Namun demikian, sejumlah kecil komponen tidak dapat diidentifikasi pada halaman produsen atau pada halaman penjual pihak ketiga, kemungkinan karena sudah tidak diproduksi lagi. Selain itu, beberapa komponen tidak mempunyai cukup informasi untuk identifikasi yang perlu untuk melakukan identifikasi positif.

IDENTIFIKASI INDIVIDU, PERUSAHAAN DAN PEMERINTAH DALAM LAPORAN INI

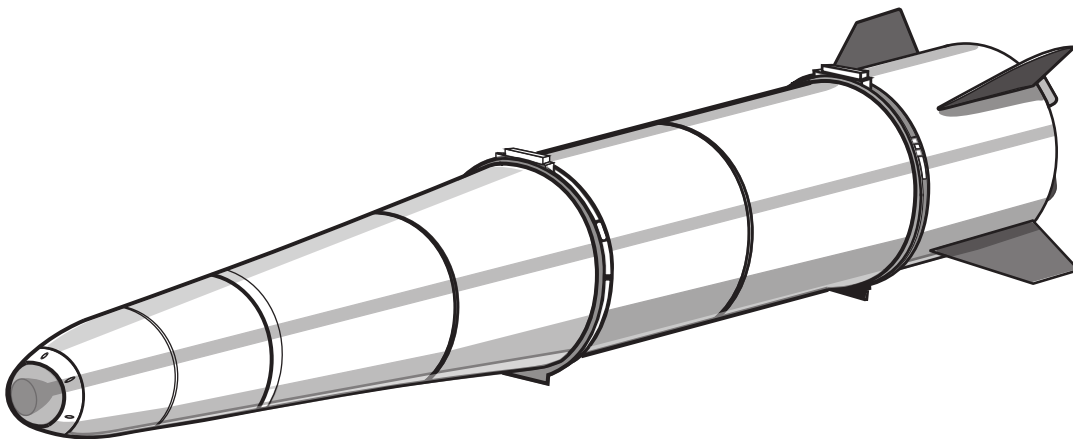
Tujuan dari laporan ini adalah untuk menjelaskan dan mendemonstrasikan bagaimana militer Rusia bergantung pada teknologi Barat. Untuk mencapai tujuan tersebut, laporan mengidentifikasi sejumlah individu/perusahaan/pemerintah yang diyakini terlibat dalam merancang dan memproduksi komponen yang telah diakuisisi oleh militer Rusia dan digunakan di dalam perangkat keras militer mereka. Untuk menghindari keraguan, RUSI tidak mempertalikan tuduhan pelanggaran apa pun di pihak individu/perusahaan/pemerintah tersebut, dan tidak membuat representasi atau pernyataan apa pun bahwa individu/perusahaan/pemerintah tersebut mempunyai keterlibatan dalam kegiatan terkait penghindaran sanksi apa pun atau terlibat secara langsung atau tidak langsung dalam mensuplai militer Rusia dan/atau pelanggan militer Rusia yang melanggar hukum atau peraturan internasional (atau dalam negerinya sendiri) yang membatasi atau melarang tindakan semacam tersebut, kecuali secara tegas dinyatakan di dalam laporan.

METODOLOGI

Untuk laporan ini, Intelijen dan Analisis Sumber Terbuka (OSIA atau Open Source Intelligence and Analysis) serta departemen-departemen Ilmu Kemiliteran (Military Sciences) RUSI menggunakan kumpulan-kumpulan data yang ekstensif tentang komponen dan perangkat mikroelektronik yang bersumber dari senjata Rusia yang dibongkar yang

telah ditangkap atau dikerahkan di Ukraina sejak Februari 2022. Kompilasi penilaian teknis ini telah berbasis data, berstandar dan dikategorikan untuk memungkinkan analisis lebih lanjut.

Inspeksi fisik atas sampel signifikan sistem dan platform senjata oleh RUSI selama kerja lapangan mengkonfirmasi keaslian dan keakuratan data ini, yang juga dikomparasikan dengan deskripsi produk serta nomor seri yang dipublikasikan oleh beragam produsen. Mesti dicatat bahwa pasar abu-abu dan pasar gelap untuk komponen dan perangkat mikroelektronik tiruan merupakan masalah global, yang berarti bahwa pembuktian nirgagal merupakan sebuah upaya yang berat. Mengingat bukti yang dinilai di sini serta riwayat panjang upaya pengadaan militer Soviet dan Rusia yang menargetkan perusahaan-perusahaan teknologi dan perangkat mikroelektronik terkemuka dunia, tim penelitian beroperasi berdasarkan asumsi bahwa mayoritas suku cadang tersebut bersifat asli. Penilaian-penilaian yang dilakukan secara internal oleh pemerintah Rusia, dan dibaca oleh para penulis, yang menyoroti ketergantungan yang besar pada sejumlah produsen luar negeri, meningkatkan keyakinan bahwa komponen yang diidentifikasi pada senjata adalah asli. Pemeriksaan lebih lanjut, khususnya analisis X-ray, dapat digunakan di masa mendatang untuk membuktikan keaslian dari banyak komponen yang ditemukan pada platform-platform tersebut. Namun demikian, konflik yang berlangsung di Ukraina menjadikan sebagian dari kerja tambahan ini menantang.



Sebuah uraian mengenai rudal Iskander. Sumber: RUSI.

Tali Penolong Silikon: Elektronik Barat di Jantung Mesin Perang Rusia

Data ini kemudian dipadukan dengan berbagai sumber lain, seperti misalnya data perdagangan tingkat pengiriman, deklarasi impor dan ekspor, dan catatan perusahaan di Rusia dalam upaya memahami secara lebih baik jaringan pengadaan negara tersebut sambil meletakkan persenjataan itu dalam konteks taktis, operasional dan strategis.

UCAPAN TERIMA KASIH

RUSI ingin berterima kasih kepada beberapa pihak dan rekan yang telah membantu dalam penyusunan laporan ini, termasuk Professor Peter Roberts, Dr Markus Schiller, Dr Daniel Salisbury dan Sean Corbett CB MBE. RUSI juga ingin berterima kasih kepada Altana Technologies, yang platform data 'Atlas Altana'-nya membantu kami memahami bagaimana barang semikonduktor dan barang mikroelektronik berpindah melalui sistem perdagangan internasional ke pengguna akhir militer Rusia.



HAK CIPTA

© Royal United Services Institute for Defence and Security Studies, 2022



Lisensi Internasional 4.0 Atribusi (BY) – Non-Komersial (NC) – Tanpa Turunan (ND) Creative Commons (CC). Untuk informasi lebih lanjut, lihat <<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>>.

PEMBERITAHUAN KOREKSI, 8 AGUSTUS 2022

Mohon dicatat bahwa versi sebelumnya dari laporan ini secara keliru mengindikasikan perusahaan yang berbasis di AS Gumstix sebagai perusahaan berbasis di Jerman. Kesalahan itu kini telah dikoreksi dan angka-angka terkait telah diperbarui sebagaimana mestinya. The authors and RUSI apologise for any confusion this may have caused. This change does not affect the analysis and conclusions presented in the report.



Daftar Isi

RINGKASAN EKSEKUTIF	7
PENGANTAR	9
BAB 1: SISTEM DAN KOMPONEN BARAT	13
Pengadaan Mendunia	16
Membendung Arus: Sanksi dan Kontrol Ekspor	17
Buronan Paling Dicari Amerika	20
Pencurian Besar Analog	25
Segalanya Lebih Baik di Texas	27
Sisi Gelap Tokyo	30
Dari seturut Kemampuan Menjadi seturut Kebutuhan	31
Memantau Swiss	32
Menjadi Belanda	33
London Memanggil	33
Stasiun Berlin	34



BAB 2: MENEROPONG RUDAL RUSIA

Iskander 9M727

Komputer Pemrosesan Radar Zarya

Mesin Komputasi Baget

Sistem Panduan

Beberapa Produk

Rudal Jelajah Kh-101

37

38

39

43

46

48

50

BAB 3: SIRKUIT TERBUKA: ARUS KOMPONEN KE RUSIA

53

Rantai Pasok Global: Impor Semikonduktor Rusia

53

Menyasar Target di Medan Perang

57

Melacak Entitas Terkena Sanksi

58

Toko Chip Hong Kong

60

KESIMPULAN

63

Tentang Penulis

64

Ringkasan Eksekutif

Invasi Rusia ke Ukraina pada 24 Februari 2022 tidak berjalan sesuai rencana. Diluncurkan dengan ekspektasi pendudukan serangan udara saksama atas kota-kota Ukraina, invasi ini telah menjadi sebuah perang yang berlarut dan melelahkan serta secara cepat melemahkan kemampuan militer Rusia. Laporan ini, yang juga berisi pembahasan tentang pelbagai komponen dan fungsi dari 27 sistem militer paling modern Rusia – termasuk rudal jelajah, sistem komunikasi dan kompleks perang elektronik – menyimpulkan bahwa penurunan kemampuan militer Rusia **dapat dibuat permanen** jika diterapkan sejumlah kebijakan yang tepat.

Berdasarkan inspeksi teknis atas peralatan militer Rusia yang tertangkap di atau ditembakkan ke Ukraina, laporan ini menguraikan sejauh mana program modernisasi militer multi-miliar dolar berusia puluhan tahun telah bergantung pada penggunaan secara ekstensif perangkat mikroelektronik yang dibuat di AS, Jepang, Taiwan, Korea Selatan, Swiss, Belanda, Inggris Raya, Prancis dan Jerman. Agar diizinkan untuk menggunakan komponen-komponen asing dalam peralatan militer, perusahaan-perusahaan Rusia harus memperlihatkan kepada Kementerian Pertahanan Rusia bahwa **tidak ada alternatif dalam negeri**.

RUSI menemukan sekurang-kurangnya **450 jenis komponen berbeda buatan asing yang unik** di dalam 27 sistem ini, yang secara mayoritas dibuat oleh perusahaan-perusahaan Amerika dengan reputasi lama untuk merancang dan membuat perangkat mikroelektronik canggih untuk militer AS. Dari jumlah tersebut, sekurangnya **80 jenis komponen berbeda yang merupakan objek ekspor oleh AS**, mengindikasikan bahwa kompleks industri militer Rusia telah, dalam beberapa dekade terakhir, mampu dan berhasil menghindari ini. Laporan ini memerinci contoh-contoh spionase berlanjut sejak Uni Soviet hingga invasi baru Rusia atas Ukraina di tahun 2022.

Rusia telah kehilangan sejumlah besar peralatan militer di Ukraina dan sangat menguras persenjataan rudal jelajah dan rudal balistiknya. Menyusul pengenaan sanksi-sanksi baru serta ekspor yang lebih ketat, pemerintah Rusia telah berupaya untuk mengatasi pemutusan akses ke komponen kritis melalui **substitusi impor**. Pendekatan ini kemudian didapati **tidak layak**. Sebagai hasilnya, Rusia kini harus memilih antara merancang senjata baru dan kemungkinan kurang mampu atau terlibat dalam **penghindaran sanksi**, yang telah menjadi prioritas utama bagi pasukan khususnya.

Analisa RUSI mengindikasikan bahwa sejumlah pusat kegiatan pindah muatan dan jaringan klandestin di negara ketiga yang dioperasikan oleh pasukan khusus Rusia sekarang bekerja guna membangun aneka rute baru dan mengamankan akses ke perangkat mikroelektronik Barat. Selama beberapa tahun, Rusia telah mengoperasikan berbagai jaringan untuk secara ilegal mengadakan barang di Eropa dan Amerika Utara menggunakan berbagai perusahaan cangkang (front company), lisensi pengguna akhir palsu serta teknik lainnya yang terbukti berhasil yang penggunaannya dipelopori oleh para pendahulu di era Soviet. Akan tetapi Rusia juga mengandalkan para distributor besar perangkat mikroelektronik di pusat-pusat kegiatan pindah muatan seperti Hong Kong, yang telah terus memindahkan barang dalam jumlah besar ke negara itu dalam beberapa tahun terakhir.

Jika ingin memutus tali penolong silikon untuk Rusia, penting bagi sejumlah pemerintah untuk:

- Meninjau dan **menguatkan ekspor yang sudah ada** di negara dan yurisdiksinya sendiri.
- **Menjalin kerjasama multinasional** untuk mengidentifikasi dan menutup berbagai jaringan pengadaan terselubung Rusia.
- **Mencegah** perangkat mikroelektronik yang bersifat sensitif **dibuat dengan izin** di negara-negara pendukung Rusia.
- Mencegah negara dan yurisdiksi-yurisdiksi

ketiga **memfasilitasi ekspor ulang atau pindah muatan** dari barang yang dikontrol ke Rusia.

Rusia berebut untuk mendapatkan apa yang bisa didapatkannya dalam jumlah besar sebelum jaring ditutup. Sekaranglah waktunya bertindak.

Pengantar

‘Ya, tentu saja, kita belum berhasil melakukan semuanya selama tahun-tahun sebelumnya di dalam bidang substitusi impor... Tapi tidak ada yang perlu ditakutkan di sini: di area-area kunci, yang menjamin kedaulatan kita, kita telah melakukan tindakan yang penting’.¹

Dalam bidikan adalah pemandangan sudut lebar sebuah kota di Ukraina. Benang silang diafragma sebuah PUNA Orlan-10 yang khas menempati bagian tengah layar. Ini merupakan sebuah PUNA pengintaian Rusia yang dirancang untuk mengkoordinasi serangan artileri. Operator memperbesar pada bermacam-macam truk; prajurit Ukraina tampak sedang berkumpul di sekitarnya.

Kamera video diproduksi oleh Sony dan dipasang pada sebuah gimbal motor yang diproduksi oleh Hextronik, berbasis di AS. Ia memperbesar secara lancar guna memberikan identifikasi positif target. Sistem penerbangan Orlan-10, yang menjaganya tetap berada di atas target, didasarkan pada

mikroer STM32F103VC dari sebuah perusahaan Swiss bernama STMicroelectronics. PUNA tersebut didukung oleh sebuah mesin dari perusahaan Jepang Saito Seisakusho. Bersama-sama, keduanya membuat Orlan-10 sebuah mesin terbang yang andal dengan jarak operasional hingga 120 kilometer. Chip navigasinya merupakan sebuah modul GNSS Neo-M8 u-blox, pertama kali diidentifikasi pada sebuah Orlan-10 di tahun 2018.² Koordinat PUNA tersebut berkemungkinan untuk dikomunikasikan ke operatornya melalui sebuah pemancar-penerima tangkas frekuensi radio yang diproduksi oleh Analog Devices.

Setelah menetapkan konfirmasi visual, operator Orlan-10 mengkalkulasi koordinat target dalam rangka memberikan data posisi akurat ke markas besar pengontrol penembakan yang bertanggung jawab. Saat koordinat telah ditetapkan, data penargetan disampaikan ke operator radio yang mengkomunikasikannya melalui radio R-168 Akveduk VHF untuk mengatur rantai pembunuhan ke infrastruktur

- 1 *Izvestiya*, ‘Vystuplenie Vladimira Putina na Jevrazijskom ekonomicheskom forume’ [‘Pidato Vladimir Putin pada Forum Ekonomi Eurasia’], 26 Mei 2022, <<https://iz.ru/1340365/video/vystuplenie-vladimira-putina-na-evraziiskom-ekonomicheskom-forume>>, accessed 18 July 2022. [Terjemahan penulis dari bahasa Rusia: ‘Da, konechno, ne vse udalos’ sdelat’ za predyduschie gody v oblasti importzamescheniya...No eto nichego zdes’ strashnogo net: po klyuchevym napravleniyam, kotorye obespechivayut nash suverenitet, my sdelali samoe neobhodimoe’]. Pernyataan-pernyataan ini dibuat pada pidato kepada Forum Ekonomi Eurasia yang membicarakan upaya-upaya oleh industri Rusia untuk beradaptasi dengan sanksi-sanksi Barat. Dalam konteks ini, kata ‘kedaulatan’ cenderung merujuk pada kemandirian ekonomi Rusia, daripada kedaulatan wilayahnya.
- 2 *Inform Napalm*, ‘Drone Rusia Orlan-10 Terdiri dari Suku Cadang yang Diproduksi di AS dan Negara Lainnya – Bukti Foto’, 2 Juni 2018, <<https://informnapalm.org/en/russian-drone-orlan-10-consists-of-parts-produced-in-the-usa-and-other-countries-photo-evidence/>>, diakses pada 18 Juli 2022.

Dibuat oleh Sarapul Radio Plant,³ R-168 Akveduk mengandung lebih dari selusin komponen yang dibuat oleh perusahaan-perusahaan Barat. Tergabung di dalam papan radio adalah sebuah mikroer yang diproduksi oleh Analog Devices yang berbasis di AS, serta sebuah prosesor sinyal digital yang dibuat oleh Texas Instruments. Papan pemancarnya, yang dari sini suara operator dikodekan dan dikirimkan ke rantai pembunuhan, juga penuh dengan komponen-komponen Barat serta sebuah gerbang silikon sistem kendali umpan balik negatif (PLL atau phase-locked loop) yang diproduksi oleh perusahaan Korea Selatan.

Misi penembakan atau fire-mission diperintahkan ke sebuah baterai peluncur roket ganda Tornado-S, sebuah sistem yang cukup baru yang dilengkapi dengan sebuah

sistem navigasi satelit GLONASS.⁴ Untuk misi penembakan ini, baterai akan menggunakan roket berpemandu GLONASS 300-mm 9M549. Jangkauan roket ini dilaporkan sejauh 120 km dan probabilitas kesalahan lingkaran sebesar 7-15 meter.⁵ Di dalamnya, roket 300-mm ini mempunyai sebuah unit komputasi canggih disertai unit giroskop serat optik triaksial dan pemrosesan sinyal navigasi satelit, yang memungkinkan jalur munisi dapat dikoreksi di tengah-tengah peluncuran, untuk memastikan akurasi yang lebih tinggi pada jarak yang lebih jauh terhadap berbagai target lebih kecil dan tunggal. Giroskop roket berisi deretan gerbang logika yang dapat diprogram (FPGA) yang diproduksi oleh Altera Corporation, sedangkan unit pemrosesan sinyal navigasi satelit dan unit komputasinya sama-sama mengandalkan modul-modul random-access memory (RAM) statis berkecepatan tinggi yang diproduksi oleh Cypress Semiconductor.

Figure 1: Komponen Rancangan dan Buatan Barat dalam Rantai Pembunuhan Rusia



Sumber: RUSI.

3 Army Guide, 'Perusahaan Gabungan Terbuka SARAPUL RADIOPLANT'; <<http://www.army-guide.com/eng/firm1087.html>>, diakses pada 18 Juli 2022.

4 Tracy Cozzens, 'Rusia Menguji Rudal Panduan GLONASS Baru', *GPS World*, 22 September 2020, <<https://www.gpsworld.com/russia-tests-new-glonass-guided-missile/>>, diakses pada 18 Juli 2022.

5 N R Jenzen-Jones and Charlie Randall, 'Rudal Kargo Seri 9M54 Rusia Terdokumentasi di Ukraina (2022)', *Armament Research Services*, 6 Maret 2022, <<https://armamentresearch.com/russian-9m54-series-cargo-missile-documented-in-ukraine-2022/>>, diakses pada 18 Juli 2022.

Tali Penolong Silikon: Elektronik Barat di Jantung Mesin Perang Rusia

Menyusul peluncuran roket ini, Orlan-10 akan memelihara kontak visual dengan target dan memberitahu baterai akan setiap perubahan pada posisi target. Semua perbaikan akan diumpan balik melalui rantai pembunahan, yang akhirnya ke unit komputasi roket di tengah-tengah penerbangan untuk memastikan efek yang paling mematikan. Dalam contoh ini, operator Orlan-10 mengamati dampak pada layarnya: sekurang-kurangnya dua truk tampak terbakar dan sejumlah prajurit Ukraina terbunuh.

Variasi-variasi dunia nyata akan rantai pembunahan hipotetis ini, direkonstruksi oleh RUSI, telah diulangi ratusan, jika bukan ribuan, kali dalam berbagai iterasi sejak invasi Rusia ke Ukraina tahun 2014 dan 2022, selain pada intervensinya di Syria pada 2015. Akan tetapi proses ini akan mustahil tanpa komponen dan perangkat elektronik penting Barat.

Sistem-sistem yang digambarkan di atas bersifat jauh dari unik dalam proses ini, sebab sistem persenjataan serta platform militer Rusia mengandung berbagai komponen dan elektronika yang secara dominan bersumber dari Barat yang bersifat kritis dalam membuat kesemuanya itu berfungsi. Dari sistem roket hingga rudal balistik dan radio taktis hingga platform peperangan elektronik, mesin perang Kremlin sering kali bergantung pada komponen yang bersumber dari luar negeri.

Laporan ini mengandung sebuah analisa kumpulan data paling menyeluruh atas komponen-komponen yang belum dirilis pada sumber terbuka, yang mana memaparkan, dalam detail yang mencolok, ketergantungan militer Rusia pada teknologi Barat.

Kumpulan data ini terdiri dari hampir 30 sistem senjata, platform dan peralatan yang ditangkap dari atau dikeluarkan oleh angkatan bersenjata Rusia di Ukraina sejak permulaan invasi pada Februari 2022. Dalam beberapa kasus, senjata-senjata ini dikaji oleh staf RUSI di darat pada berbagai lokasi di seluruh Ukraina. Sebagian merupakan sistem lama, kemungkinan

dibangun puluhan tahun yang lalu menjelang akhir era Soviet. Sebagian lainnya merupakan platform sangat canggih yang dibangun dalam beberapa tahun terakhir sebagai bagian dari program modernisasi militer Rusia bernilai multi-miliar dolar.

Terlepas dari usia konstruksinya, terdapat tema yang konsisten: dari yang standar sampai yang berkelas, senjata-senjata Rusia mengandung jumlah besar komponen perangkat mikroelektronik yang asalnya dibuat di Amerika Utara, Eropa dan Asia Timur. Sementara sebagian dari komponen tersebut, seperti misalnya komponen siap pakai komersial, akan dapat dengan cukup mudah dibeli oleh angkatan bersenjata Rusia melalui grosir dalam negeri maupun internasional, sebagian lainnya berkemungkinan diakuisisi oleh jejaring klandestin yang dioperasikan oleh Dinas Intelijen Asing Rusia (SVR) atau GRU, badan intelijen militer Rusia.

Meskipun kesimpulan ini mungkin mengkhawatirkan mengingat serangan Rusia terhadap Ukraina, operasi-operasi spionase sains dan teknologi (S&T) ekspansif Kremlin serta pengadaan ilegal komponen Barat bukanlah cerita baru. Untuk hampir satu abad, dinas intelijen negara tersebut telah memprioritaskan pengumpulan informasi S&T serta akuisisi teknologi kritis untuk program senjata Rusia.⁶ Sibuk memelihara paritas dengan Barat, operasi-operasi spionase teknis Soviet serta infrastruktur yang diperlukan untuk memproses informasi bersifat luas, terdiri dari 100.000 individu serta 11.000 departemen informasi yang berafiliasi dengan lembaga-lembaga riset Soviet.⁷

Analisa RUSI mengindikasikan prioritas-prioritas ini kemungkinan tidak pernah berubah, sebab baik SVR maupun GRU terus secara agresif mengejar pengadaan suku cadang, komponen dan pengetahuan teknis yang perlu untuk membangun dan menerjunkan senjata yang dirancang untuk menghancurkan musuh-musuhnya.

6 CIA, 'Memorandum Intelijen Antar Lembaga: Upaya Akuisisi Teknologi Dinas Intelijen Soviet', 18 Juni 1982. Lihat juga Kevin Riehle, *Russian Intelligence* (Bethesda, MD: Universitas Intelijen Nasional/National Intelligence University, 2021), hal. 81.

7 CIA, 'Memorandum Intelijen Antar Lembaga', p. 7; Riehle, *Russian Intelligence*, hal. 138–40.

Sekarang, dihadapkan dengan berbagai macam sanksi baru menyusul invasi pada Februari 2022 terhadap Ukraina, Kremlin menghadapi tugas menakutkan menggantikan komponen-komponen ini sambil membangun rantai pasok baru untuk memindahkannya ke negaranya. Setelah kehilangan dan mengeluarkan platform dan sistem senjata dalam jumlah sangat besar, kompleks industri militer Rusia membutuhkan banyak sekali komponen baru untuk mempertahankan operasi-operasi tempurnya serta memperlengkapi angkatan bersenjata untuk pertempuran masa depan.

Masalah ini tidak lepas dari perhatian mereka yang berada pada tingkatan tertinggi pemerintahan Rusia. Selama bertahun-tahun, Kremlin telah mempromosikan, dengan keberhasilan yang kecil, substitusi impor sebagai perlindungan terhadap sanksi-sanksi Barat.⁸

Pada bulan Juni 2014, Vladimir Putin menyoroti pentingnya substitusi impor bagi militer Rusia dan menyerukan transisi menuju komponen militer produksi dalam negeri.⁹ Namun demikian, delapan tahun kemudian, Rusia tampaknya telah membuat kemajuan efektif yang sangat kecil dalam memulai sebuah revolusi semikonduktor buatan sendiri, sebuah aspirasi yang kini hampir mustahil mengingat sanksi-sanksi multilateral yang dirancang untuk melumpuhkan kompleks industri militer negara tersebut.

Meskipun sebagian komponen dapat bersumber dari Cina, banyak komponen kritis untuk senjata Rusia yang tidak. Tanpa kemampuan memproduksi dalam negeri yang diperlukan, Rusia dan angkatan bersenjata tetap sangat rentan terhadap upaya-upaya multilateral untuk menghentikan arus komponen ini dan menaikkan ongkos agresinya di Ukraina.

8 Untuk lebih lanjutnya tentang upaya-upaya Rusia pada penggantian impor, lihat Tatyana Mischenko, 'Podderzhali otechestvennogo proizvoditelya. Chto takoe importzamescheniye, kak ono prohodit v Rossii' ['Supporting National Producers. Apa Itu Penggantian Impor, Bagaimana Ia Diimplementasikan di Rusia?'], *SovkomBlog*, 27 Januari 2022, <<https://sovcombank.ru/blog/umnii-potrebitel/podderzhali-otechestvennogo-proizvoditelya-chto-takoe-importzameschenie-kak-ono-prohodit-v-rossii>>, diakses tanggal 18 Juli 2022.

9 *Interfax*, 'Putin zayavil o neobhodimosti uskorennoy perehoda promyshlennosti k importzamescheniyu' ['Putin Menyatakan Kebutuhan akan Transisi Industri yang Dipercepat untuk Substitusi Impor'], 28 Juli 2014, <<https://www.interfax.ru/business/388216>>, diakses tanggal 18 Juli 2022.

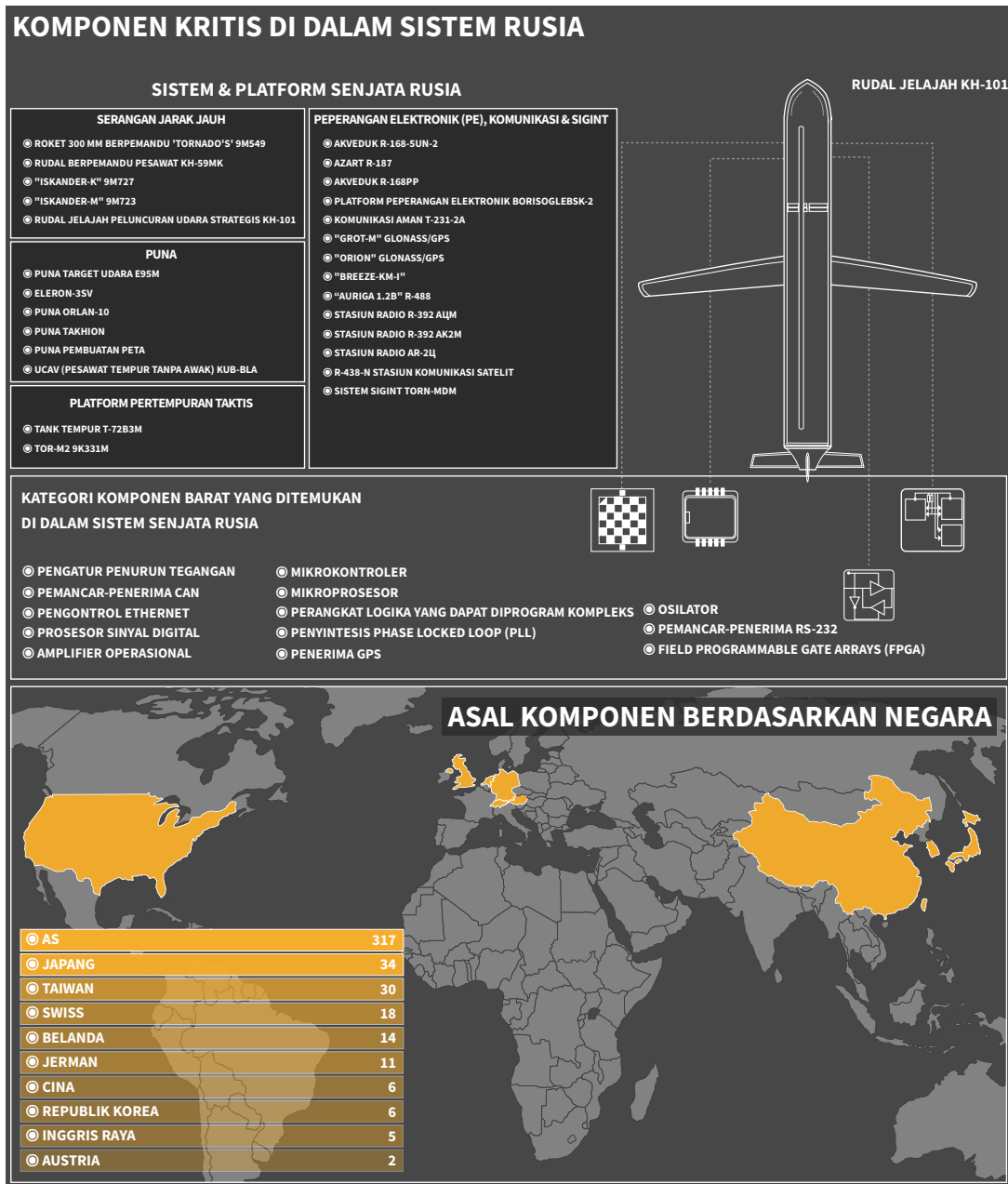
Sistem dan Komponen Barat

Kumpulan data yang diperoleh RUSI meliputi 27 sistem senjata, platform, radio, dan peralatan baik yang ditangkap maupun dikerahkan di Ukraina sejak permulaan invasi berskala penuh pada Februari 2022 hingga akhir Juni. Sistem-sistem ini mencakup beberapa aset serangan jarak jauh seperti rudal kuasi-balistik 9M720 Iskander-M,¹⁰ rudal jelajah luncur darat (GLCM) 9M727 yang diluncurkan dari Peluncur Erektor Transporter (TEL) Iskander, dan rudal jelajah

luncur udara (ALCM) strategis Kh-101. Ia juga mencakup platform-platform tempur taktis seperti sistem pertahanan udara 9K331M Tor-M2 dan berbagai macam PUNA, sistem-sistem komunikasi radio dan satelit seperti radio taktis R-168 Akveduk, serta platform-platform peperangan elektronik (EW) dan intelijen sinyal (SIGINT) seperti Torn-MDM.

¹⁰ Rudal kuasi-balistik bersifat sebagian besar balistik namun mampu melakukan manuver-manuver di tengah-tengah penerbangan dan sering kali mempunyai lintasan yang lebih rendah.

Figure 2: Ikhtisar Sistem dan Komponen



Sumber: RUSI.

Dalam beberapa kasus, sistem-sistem ini dipulihkan dalam keadaan sepenuhnya utuh. Dalam kasus-kasus lainnya, khususnya dalam kasus munisi-munisi yang dikeluarkan seperti rudal balistik dan rudal jelajah, hanya dipulihkan sebagian, yang berarti bahwa profil komponennya tidak selalu lengkap. Dengan demikian, daftar-daftar komponen untuk beberapa sistem yang dipresentasikan di sini agar tidak dianggap lengkap. Kendati adanya batasan-batasan, penangkapan dan pembongkaran sistem-sistem ini pada skala ini

menyediakan suatu kesempatan yang nyaris tak tertandingi untuk memahami bagaimana senjata-senjata ini dirancang, dibangun dan dikerahkan di medan perang.

Bersama-sama, sistem-sistem ini mengandung sepetak luas komponen rancangan Barat termasuk mikroelektronik, kamera dan sensor terspesialisasi, pemancar-penerima dan konverter, bilah udara, motor dan berbagai lainnya. Di antaranya, RUSI mengidentifikasi 450 komponen unik yang terutama bersumber

Tali Penolong Silikon: Elektronika Barat di Jantung Mesin Perang Rusia

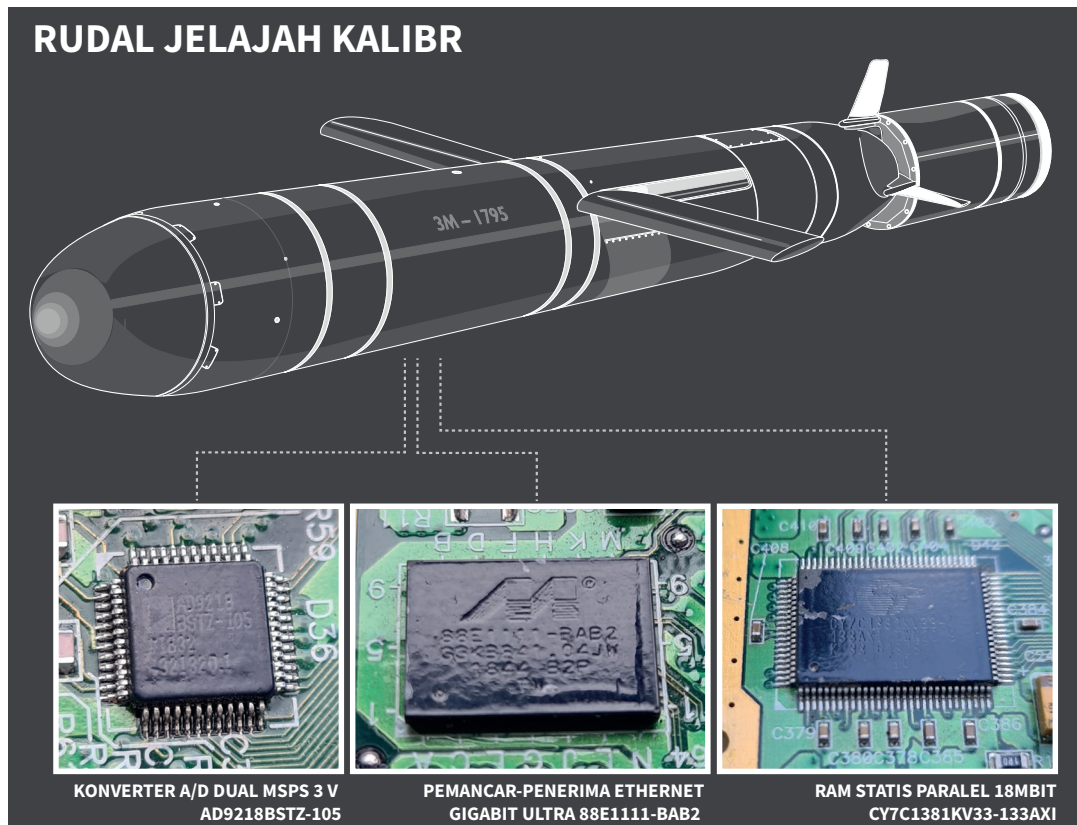
dari produsen-produsen Barat, yang mana sekurangnya 318 di antaranya datang dari perusahaan-perusahaan berbasis di AS. Dalam beberapa contoh, sistem-sistem ini mengandung beberapa komponen yang sama. Sementara, sebagian dari komponen yang sama ditemukan di beberapa sistem dan sub-sistem, yang berarti bahwa jumlah total komponen jauh lebih besar.

Banyak dari komponen ini merupakan perangkat mikroelektronik biasa yang dapat dibeli melalui penyalur daring di berbagai negara dan yurisdiksi. Dalam contoh lainnya, itu adalah barang-barang yang ekspornya telah lama menjadi objek dengan tujuan mencegahnya digunakan untuk tujuan-tujuan

militer. Sekarang, menyusul invasi Kremlin ke Ukraina, sebagian besar kini dibatasi untuk ekspor ke Rusia jika diperuntukkan pengguna akhir militer.

Tanggal pembuatan komponen dan perangkat mikroelektronik beragam. Sementara sebagian dibangun dan kemungkinan diadakan sejauh awal 1980-an, sebagian lainnya dibuat dalam beberapa tahun terakhir. Komponen rancangan Barat yang ditemukan di dalam sebuah rudal jelajah Kalibr, misalnya, tampak bertanggal 2018 dan 2019 - empat tahun setelah berbagai macam sanksi dan ekspor menargetkan pengguna akhir militer menyusul invasi Kremlin ke Ukraina.

Figure 3: Komponen Modern Rudal Jelajah



Sumber: RUSI.

Namun demikian, terlepas dari klasifikasi khususnya, kehadiran perangkat mikroelektronik dan komponen lain buatan Barat pada skala ini menyoroti kegagalan Rusia yang sedang berlangsung untuk memproduksi tiruan dalam negeri atau mendapatkan komponen analog dari tempat lain. Ini juga menggarisbawahi tantangan-tantangan yang

menghadapi kompleks industri militer negara tersebut dalam menggantikan peralatan dan materi yang hilang sejak permulaan invasi, khususnya mengingat upaya-upaya multilateral untuk menguatkan atas ekspor barang kegunaan ganda dan komponen kritis.

PENGADAAN MENDUNIA

Mayoritas komponen di dalam kumpulan data berasal dari 57 perusahaan berbasis di AS. Di antaranya, yang paling lazim adalah komponen yang diproduksi oleh produsen perangkat mikroelektronik terkemuka seperti Analog Devices Inc, Texas Instruments, Maxim Integrated,¹¹ Xilinx Inc,¹² Microchip Technology Inc, ON Semiconductor, Altera Corporation,¹³ Intel Corporation, Atmel Corporation¹⁴ dan Cypress Semiconductor.¹⁵ Digabungkan, sejumlah 208 komponen unik yang diproduksi oleh 10 perusahaan ini dipulihkan dari 26 sistem tersebut di atas yang digunakan oleh angkatan bersenjata Rusia.

Di luar AS, 77 komponen lebih jauh dirancang dan diproduksi oleh perusahaan-perusahaan yang berbasis di Jepang, Taiwan, Korea Selatan, China dan Singapura. Tigabelas di antaranya didapati diproduksi oleh perusahaan Jepang Murata Manufacturing Co Ltd, sementara tujuh diproduksi oleh perusahaan Taiwan Yageo Corporation.

Sekarangnya 55 komponen unik didapati berasal dari perusahaan-perusahaan Eropa. Pada khususnya, volume terbesar produk datang dari perusahaan berbasis di Belanda NXP Semiconductors NV dan perusahaan berbasis di Swiss STMicroelectronics. Produsen-produsen

lainnya termasuk perusahaan Swiss u-blox, perusahaan Jerman EPCOS, perusahaan Prancis Thales Group, serta perusahaan-perusahaan berbasis di Inggris Raya CML Microcircuits dan Golledge Electronics.

Meski kebanyakan dari komponen-komponen ini memiliki nomor seri yang dapat diverifikasi dan dipecahkan ke produsen-produsen spesifik, sejumlah kecil tidak dapat diidentifikasi pada halaman produsen dan kemungkinan tidak diproduksi lagi. Selain itu, sebagian komponen tidak mempunyai cukup informasi pengidentifikasian yang diperlukan untuk melakukan identifikasi positif. Perlu dicatat bahwa pemalsuan komponen merupakan suatu fenomena yang semakin umum, yang berarti bahwa suku cadang tertentu dapat merupakan jiplakan palsu berkualitas rendah yang diproduksi di tempat lain.

Komponen-komponen ini dikategorikan dalam jenis-jenis dan sub-sub jenis dalam rangka memahami yang paling umum digunakan di seluruh sistem Rusia ini. Yang paling lazim adalah mikrokontroler dan mikroprosesor, serta perangkat logika yang dapat diprogram kompleks (CPLD) dan FPGA, yang membolehkan pelanggan dan teknisi untuk mengkonfigurasi sirkuit terpadu setelah diproduksi.¹⁶

- 11 Beroperasi sebagai anak perusahaan Analog Devices Inc sejak Agustus 2021. Lihat Analog Devices, 'Analog Devices Menyelesaikan Akuisisi Maxim Integrated', siaran pers, 26 Agustus 2021, <<https://www.analog.com/en/about-adi/news-room/press-releases/2021/8-26-21-adi-completes-acquisition-of-maxim-integrated.html>>, diakses pada 18 Juli 2022.
- 12 Diakuisisi oleh Advanced Micro Devices Inc pada Februari 2022. Lihat Advanced Micro Devices, 'AMD Menyelesaikan Akuisisi Xilinx', siaran pers, 14 Februari 2022, <<https://ir.amd.com/news-events/press-releases/detail/1047/amd-completes-acquisition-of-xilinx>>, diakses pada 18 Juli 2022.
- 13 Diakuisisi oleh Intel Corporation pada Desember 2015. Lihat Intel Newsroom, 'Intel Menyelesaikan Akuisisi Altera', siaran berita, 28 Desember 2015, <<https://newsroom.intel.com/news-releases/intel-completes-acquisition-of-altera/#gs.5eb5ck>>, diakses pada 18 Juli 2022.
- 14 Diakuisisi dan disubsidi oleh Microchip Technology pada tahun 2016. Lihat Claudia Assis, 'Microchip Technology Membeli Pembuat Chip Atmel dalam Kesepakatan 3.56 Miliar Dolar AS', MarketWatch, 19 Januari 2016, <<https://www.marketwatch.com/story/microchip-technology-buys-chip-maker-atmel-in-356-billion-deal-2016-01-19>>, diakses pada 19 Juli 2022.
- 15 Diakuisisi oleh Infineon Technologies AG pada bulan April 2020. Lihat Infineon Technologies, 'Infineon Technologies AG Menyelesaikan Akuisisi Cypress Semiconductor Corporation', siaran pers, 16 April 2020, <<https://www.infineon.com/cms/en/about-infineon/press/press-releases/2020/INFXX202004-049.html>>, diakses pada 18 Juli 2022.
- 16 Perangkat-perangkat ini juga memerlukan sebuah perangkat pemrograman untuk dapat dikonfigurasi oleh pengguna baik dalam pengembangan atau di pabrik. Perangkat-perangkat pemrograman ini, biasanya dijual oleh produsen chip, mengandung sejumlah suku cadang kompleks dan ekspornya mungkin dikontrol. Ini akan berarti bahwa pengguna yang ingin mengimpor CPLD dan FPGA akan juga perlu mengimpor alat-alat pendukung ini untuk memprogramnya dengan benar. Xilinx, 'Field Programmable Gate Array (FPGA)', <<https://www.xilinx.com/products/silicon-devices/fpga/what-is-an-fpga.html>>, diakses pada 21 Juli 2022; techopedia, 'Complex Programmable Logic Device (CPLD)', <<https://www.techopedia.com/definition/6655/complex-programmable-logic-device-cpld>>, diakses

Tali Penolong Silikon: Elektronika Barat di Jantung Mesin Perang Rusia

Komponen-komponen buatan Barat yang umum lainnya mencakup penyintesis, penguat (amplifier) operasional, osilator, pemancar-penerima RS-232, pemancar-penerima CAN, pengatur mundur (step-down regulator), pengontrol, konverter analog-ke-digital (A/D) serta kamera pencitraan termal.

Meskipun perangkat-perangkat jenis ini memainkan banyak sekali peranan dalam sistem-sistem komersial, ia juga menduduki jantung bagaimana perang modern terjadi. Sensor kompleks, sistem pemrosesan informasi, kompleks penargetan dan navigasi, peralatan komunikasi terenkripsi dan banyak platform modern lainnya mengandalkan perangkat mikroelektronik jenis-jenis ini untuk berfungsinya. Oleh karena itu, konstruksi dan pengadaannya akan selalu menjadi prioritas bagi kompleks industri militer Rusia yang lapar teknologi.

MEMBENDUNG ARUS: SANKSI DAN KONTROL EKSPOR

Menyusul invasi Rusia ke Ukraina pada Februari 2022, AS, Inggris Raya dan UE menjatuhkan berbagai sanksi pada Rusia.¹⁷ Itu mencakup sanksi-sanksi finansial dan sektoral yang ditargetkan, selain ekstensi atas berbagai ekspor yang dirancang untuk mengurangi akses negara tersebut ke teknologi serta komponen-komponen kritis militer.¹⁸ Berbagai negara dan yurisdiksi, termasuk Jepang, Korea Selatan, Taiwan, Kanada, Australia dan Swiss, berkomitmen untuk mengimplementasikan ekspor serupa.

Meski sebelum invasi banyak komponen buatan AS yang ditemukan di dalam sistem-sistem senjata Rusia mempunyai izin ekspor ke Rusia di bawah Peraturan Administrasi Ekspor (EAR99), para eksportir AS akan produk-produk ini tetap mempunyai kewajiban uji tuntas untuk memastikan bahwa itu tidak diperuntukkan bagi pengguna akhir yang dilarang, atau untuk digunakan dalam penggunaan akhir yang dilarang.¹⁹

Namun demikian, senjata-senjata Rusia yang dikaji untuk laporan ini mengandung sebuah daftar panjang komponen klasifikasi EAR99 buatan perusahaan-perusahaan AS. Texas Instruments, Analog Devices, Maxim Integrated dan Xilinx merupakan para produsen utama komponen-komponen tersebut, menyumbang sekitar 30% dari total. Pada khususnya, itu termasuk beragam suku cadang yang penting untuk geolokasi dan kalkulasi, dikumpulkan di bawah kira-kira empat kategori: mikroer dan mikroprosesor; antarmuka; amplifier; dan FPGA.

Jelas, kehadiran sejumlah besar komponen EAR99 buatan AS di dalam sistem-sistem senjata Rusia merupakan bukti kuat bahwa suku-suku cadang ini dibeli dari penyalur di Rusia atau bahwa itu diadakan dan dialihkan untuk tujuan-tujuan militer.

Dalam beberapa kasus lainnya, komponen yang ditemukan di dalam sistem senjata Rusia merupakan objek ekspor yang lebih ketat bahkan sebelum invasi Februari 2022.²⁰ Hal ini benar untuk suku cadang buatan AS,²¹ tapi

pada 21 Juli 2022.

17 Untuk tindakan Inggris Raya, lihat Kantor Luar Negeri, Persemakmuran dan Pembangunan, 'Sanksi-Sanksi Inggris Raya Terkait dengan Rusia', 19 Juli 2022, <<https://www.gov.uk/government/collections/uk-sanctions-on-russia>>, diakses pada 20 Juli 2022; untuk tindakan AS, lihat Departemen Keuangan AS, 'Sanksi-Sanksi Terkait Ukraina/Rusia', <<https://home.treasury.gov/policy-issues/financial-sanctions/sanctions-programs-and-country-information/ukraine-russia-related-sanctions>>, diakses pada 20 Juli 2022; untuk tindakan UE, lihat Komisi Eropa, 'Sanksi-Sanksi yang Diadopsi Menyusul Agresi Militer Rusia Terhadap Ukraina', <https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/international-relations/restrictive-measures-sanctions/sanctions-adopted-following-russias-military-aggression-against-ukraine_en>, diakses pada 20 Juli 2022.

18 *Ibid.*

19 Administrasi Perdagangan Internasional Departemen Perdagangan AS, 'Export Control Classification Number (ECCN) and Export Administration Regulation (EAR99)', <<https://www.trade.gov/eccn-and-export-administration-regulation-ear99>>, diakses pada 18 Juli 2022.

20 Komponen-komponen untuk proyek ini direferensi silang terhadap sumber-sumber terbuka untuk menentukan apakah ia diklasifikasi di bawah peraturan-peraturan ECCN atau EAR99. Lihat 'Methodology'.

21 Komponen-komponen buatan asing yang menggunakan teknologi asal AS bercampur di atas derajat tertentu akan tetap tunduk pada ekspor AS dan mungkin memerlukan lisensi ekspor. Lihat Biro Perindustrian dan Keamanan

Byrne, Somerville, Byrne, Watling, Reynolds dan Baker

juga sering kali untuk suku cadang lain buatan tempat lain seperti di Inggris Raya, UE, Jepang, Korea Selatan dan Taiwan, yang berarti bahwa itu berkemungkinan besar telah diadakan secara ilegal dan secara rahasia dikirim ke Rusia atau secara curang dialihkan kepada pengguna akhir militer pada suatu ketika sebelum invasi.

Beberapa bocoran informasi dari tahun 2007 mengungkap pembicaraan internal pemerintah AS atas ekspor terkontrol ke Rusia. Salah satu darinya adalah mengenai sebuah konverter A/D yang diproduksi oleh Analog Devices yang sangat mirip dengan yang ditemukan di beberapa sistem senjata di Ukraina.²² Meski importir Rusia bersangkutan akhirnya dianggap sebagai entitas sipil pada waktu itu, ekspor-ekspor langsung teknologi AS terkontrol akan mensyaratkan baik lisensi maupun kemungkinan verifikasi pasca-pengiriman untuk memastikan produk digunakan untuk tujuan-tujuan non-militer.²³

Namun demikian, menyusul invasi serta pencaplokan Crimea oleh Rusia tahun 2014, berbagai negara telah terlibat dalam upaya-upaya membatasi suplai komponen ke kompleks industri militer Rusia. Pada awal tahun 2014, Biro Industri dan Keamanan (BIS) AS memperluas pembatasan ekspor ke Rusia, menolak pengajuan lisensi yang tertunda untuk ekspor atau ekspor ulang semua komponen teknologi tinggi yang merupakan objek EAR

ke Rusia atau Crimea yang berkontribusi pada kemampuan militer atau basis industri Rusia.²⁴ Pada bulan Juli di tahun yang sama, UE menyusul dan memperkenalkan sanksi-sanksi yang mencakup embargo senjata dan materi-materi terkait, serta barang dan teknologi berfungsi ganda yang dimaksudkan untuk penggunaan militer atau untuk pengguna akhir militer.²⁵

Sejak saat itu, pembatasan-pembatasan ekspor AS telah secara bertahap diperluas. Sebagai contoh, pada bulan Desember 2020, BIS menerbitkan sebuah daftar 'Pengguna Akhir Militer' (MEU) menyebutkan 58 perusahaan Cina dan 45 perusahaan Rusia, yang mengharuskan para eksportir, eksportir ulang dan siapa saja yang ingin mentransfer komponen di dalam negeri untuk memperoleh lisensi ekspor untuk memindahkan produk-produk EAR ke entitas-entitas tersebut.²⁶

Pada bulan 2021, BIS juga mempersempit rentang pengecualian lisensi EAR secara signifikan, menanggukkan Pengecualian Lisensi RPL (Servis dan Penggantian Suku Cadang dan Peralatan), Pengecualian Lisensi TSU (Teknologi dan Perangkat Lunak Tanpa Pembatasan) serta Pengecualian Lisensi APR (Ekspor Ulang Permisif Tambahan) untuk transaksi yang melibatkan komponen yang dikontrol untuk alasan keamanan nasional yang diperuntukkan bagi Rusia.²⁷

Departemen Perdagangan AS, 'FAQ Dianggap Ekspor – Teknologi Apa Saja yang Tunduk Pada Departemen Perdagangan?', <<https://www.bis.doc.gov/index.php/policy-guidance/deemed-exports/deemed-exports-faqs/faq/48-what-technologies-are-subject-to-the-commerce-department-controls>>, diakses pada 25 Juli 2022.

22 WikiLeaks, 'EXTRANCHECK: PENGECEKAN PRA-LISENSI: Perusahaan Gabungan VREMYA- CH, NIZHNY NOVGOROD, RUSSIA, NO. LISENSI D368426', 12 Januari 2007, <https://wikileaks.org/plusd/cables/07MOSCOW86_a.html>, diakses pada 19 Juli 2022.

23 Administrasi Perdagangan Internasional Departemen Perdagangan AS, 'Nomor Klasifikasi Ekspor (ECCN) dan Peraturan Administrasi Ekspor (EAR99)', <<https://www.trade.gov/eccn-and-export-administration-regulation-ear99>>, diakses pada 18 Juli 2022.

24 Biro Perindustrian dan Keamanan Departemen Perdagangan AS, 'Departemen Perdagangan Mengumumkan Perluasan Pembatasan Ekspor atas Rusia', siaran pers, 28 April 2014, <<https://www.bis.doc.gov/index.php/all-articles/107-about-bis/newsroom/press-releases/press-release-2014/665-commerce-dept-announces-expansion-of-export-restrictions-on-russia>>, diakses pada 19 Juli 2022.

25 Dewan UE, 'Lini Waktu – Tindakan Ketat UE Terhadap Rusia Atas Ukraina', <<https://www.consilium.europa.eu/en/policies/sanctions/restrictive-measures-against-russia-over-ukraine/history-restrictive-measures-against-russia-over-ukraine/>>, diakses pada 19 Juli 2022.

26 Biro Perindustrian dan Keamanan Departemen Perdagangan AS, 'Suplemen No. 4 pada Bagian 744 – DAFTAR ENTITAS', 28 Juni 2022, <<https://www.bis.doc.gov/index.php/documents/regulations-docs/2326-supplement-no-4-to-part-744-entity-list-4/file>>, diakses pada 19 Juli 2022.

27 Alexandre (Alex) Lamy, Lise S Test and Paul Amberg, 'BIS dan DDTTC Mengimplementasikan Ekspor AS yang Diperkuat atas Rusia sebagai Tanggapan terhadap Peracunan dan Pemencaraan Navalny', Pembaruan Sanksi dan Ekspor, 29

Tali Penolong Silikon: Elektronik Barat di Jantung Mesin Perang Rusia

Daftar Entitas BIS

Menyusul invasi tahun 2022, BIS telah menambahkan sejumlah besar perusahaan Rusia dan Belarusia pada Daftar Entitasnya, sebuah daftar pembatasan perdagangan yang terdiri dari oknum, entitas dan pemerintah asing yang tunduk pada EAR yang mengatur komponen kegunaan ganda.²⁸ Pihak-pihak pada daftar terlibat dalam kegiatan-kegiatan yang diberi sanksi oleh Departemen Luar Negeri AS atau yang bertentangan dengan kepentingan-kepentingan keamanan nasional atau kebijakan luar negeri AS.²⁹

Daftar Entitas tersebut memberlakukan suatu persyaratan lisensi atas pihak-pihak dalam daftar, terlepas dari persyaratan-persyaratan lisensi lain yang diberlakukan di bagian lain di dalam EAR. Pada sebagian entri tersebut, bahkan barang yang diklasifikasi sebagai EAR99 akan memerlukan lisensi oleh eksportir untuk diekspor, diekspor ulang atau ditransfer (di dalam negeri) ke pihak tersebut.³⁰ Meski tidak seketat bila ditempatkan dalam Daftar Belum Diverifikasi BIS atau ditunjuk sebagai 'oknum ditolak', untuk pihak-pihak dalam Daftar Entitas,

BIS memberlakukan suatu kebijakan peninjauan lisensi tentang praduga penolakan, yang secara efektif memblokir pihak-pihak dalam daftar yang menerima barang kegunaan ganda Nomor Klasifikasi Ekspor (ECCN) dan EAR99 dari eksportir AS.

Oleh karena itu, meski sepetak besar sanksi dan pengetatan ekspor akan berkemungkinan berdampak secara signifikan pada kemampuan Rusia untuk mengadakan komponen Barat untuk senjatanya, banyak komponen yang ditemukan pada platform-platform senjata negara ini sudah dikontrol sebelum invasi tahun 2014 dan invasi tahun 2022.³¹

Malahan, sejumlah 81 komponen unik yang ditemukan di dalam sistem-sistem senjata Rusia diklasifikasikan sebagai barang kegunaan ganda dengan Nomor Klasifikasi Ekspor (ECCN) terkait pada Daftar Perdagangan pemerintah AS.³² Sistem ECCN menggunakan sebutan-sebutan alfanumerik lima karakter untuk menentukan apakah barang memerlukan lisensi ekspor dari Departemen Perdagangan AS. Jika suatu barang mempunyai ECCN, maka produk tersebut telah diklasifikasi sebagai sebuah barang kegunaan ganda dan eksportir harus memperoleh lisensi ini untuk pengiriman ke luar negeri.

Maret 2021, <<https://sanctionsnews.bakermckenzie.com/bis-and-ddtc-implement-strengthened-us-export-controls-on-russia-in-response-to-poisoning-and-imprisonment-of-navalny/>>, diakses pada 19 Juli 2022.

28 Biro Perindustrian dan Keamanan Departemen Keuangan AS, 'Daftar Entitas', <<https://www.bis.doc.gov/index.php/policy-guidance/lists-of-parties-of-concern/entity-list>>, diakses pada 19 Juli 2022.

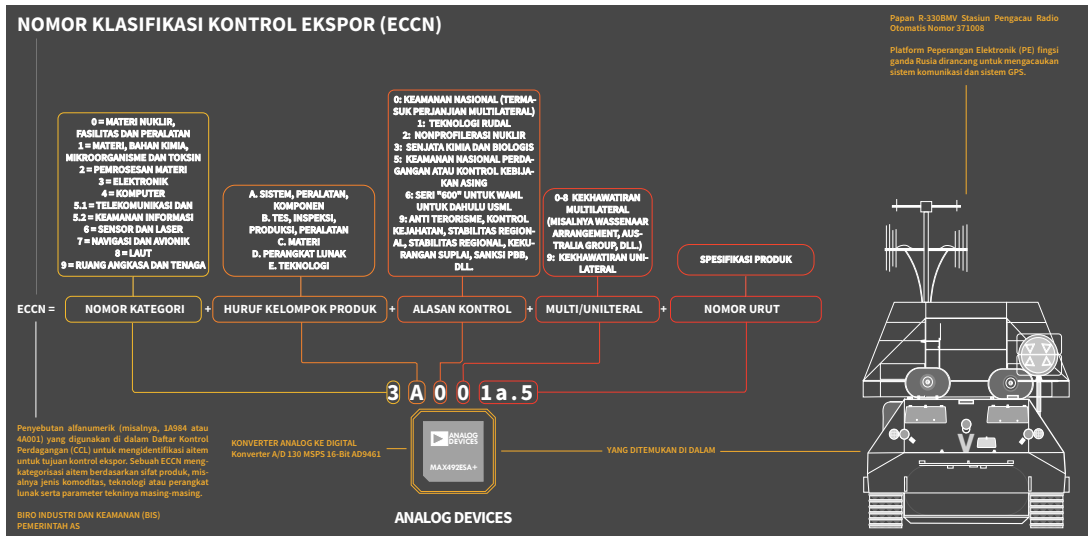
29 *Ibid.*

30 *Ibid.*

31 Biro Perindustrian dan Keamanan Departemen Perdagangan AS, 'Daftar Perdagangan (CCL)', <<https://www.bis.doc.gov/index.php/regulations/commerce-control-list-ccl>>, diakses pada 19 Juli 2022.

32 Komponen-komponen untuk proyek ini direferensi ulang dengan sumber-sumber terbuka untuk menentukan apakah ia diklasifikasi di bawah peraturan-peraturan ECCN atau EAR99. See 'Methodology'.

Figure 4: Memahami Nomor Klasifikasi Ekspor



Sumber: Biro Industri dan Keamanan (BIS) US; Ekspor MIT, 'Panduan Nomor Klasifikasi Ekspor (ECCN)'; RUSI.

Banyak dari komponen buatan AS yang terkontrol ini ditemukan di dalam sistem senjata penting Rusia seperti roket berpemandu GLONASS 9M549 300-mm, rudal anti kapal Kh-59 (ASHM) dan sistem EW R-330BMV. Roket 9M549 dan Kh-59 mengandung modul memori flash dan modul SRAM yang terkontrol ECCN. Sementara itu, R-330BMV berisi berbagai komponen terkontrol ECCN termasuk FPGA, CPLD, mikroprosesor, prosesor sinyal digital dan konverter A/D.

Barang lain ber-ECCN termasuk semikonduktor buatan Belanda di dalam ALCM Kh-101 dan chip RAM statis CMOS berperforma tinggi di dalam GLCM 9M727. Lima komponen ECCN terpisah juga ditemukan di dalam sistem SIGNIT Torn-MDM, termasuk mikro dan amplifier RF buatan Barat. Akan tetapi, sistem-sistem yang paling banyak mengandung komponen terkontrol ECCN secara umum merupakan contoh-contoh peralatan radio. Sebagai contoh, radio ACM R-392 mengandung sekurangnya enam komponen unik berklasifikasi terkontrol ECCN.

Suatu tingkat persentase yang tinggi akan barang-barang terkontrol ini asalnya diproduksi oleh perusahaan-perusahaan bermarkas besar di AS, mencapai 78% dari barang ECCN di dalam kumpulan data. Diambil bersama-sama, Analog

Devices dan Texas Instruments merupakan produsen-produsen asli sekitar 25% dari seluruh barang berklasifikasi ECCN yang ditemukan di dalam sistem-sistem senjata Rusia.

Produsen-produsen AS lain akan komponen-komponen berklasifikasi ECCN termasuk Intel Corporation, Atmel Corporation, Cypress Semiconductors dan Microchip Technology. Produsen-produsen Jepang dan Taiwan menyusul dengan seksama di nomor dua dan tiga berturut-turut dengan 10 dan sembilan komponen .

BURON PALING DICARI AMERIKA

Selama beberapa dekade, badan-badan intelijen Rusia serta para pendahulu Sovietnya telah menargetkan perusahaan-perusahaan komputer dan perangkat mikroelektronik terkemuka AS sebagai bagian dari upaya-upaya spionase dan pengadaan mereka. Pada tahun 1985, sebuah penilaian dari pemerintah AS atas target-target akuisisi Soviet menyebut IBM dan Texas Instruments sebagai target-target penetrasi prioritas bagi Soviet.³³ Arsip-arsip KGB, diterbitkan oleh sang pembelot Vasili Mitrokhin, memperlihatkan bahwa badan ini bahkan berhasil menempatkan mata-mata di Texas Instruments cabang Prancis pada tahun 1964.³⁴ Namun tingkat yang mengejutkan dari operasi-

33 Kantor Sekretaris Pertahanan, 'Akuisisi Soviet atas Teknologi Barat yang Signifikan Secara Militer: Sebuah Pembaruan', September 1985, <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA160564.pdf>, diakses pada 19 Juli 2022.

34 Christopher Andrew dan Vasili Mitrokhin, *The Mitrokhin Archive* (London: Penguin Press, 1999), hal. 245.

Tali Penolong Silikon: Elektronika Barat di Jantung Mesin Perang Rusia

operasi ini baru dipaparkan di tahun 1981, ketika Vladimir Vetrov – seorang insinyur Soviet yang bekerja untuk KGB – memberi intelijen Prancis 4.000 dokumen rahasia mengenai kegiatan-kegiatan Line X, sebuah departemen pengumpulan teknis yang dibawah oleh Direktorat T dari Direktorat Kepala Teratas KGB.³⁵ Menurut apa yang kemudian dinamakan Farewell Dossier (berkas perpisahan), upaya Soviet bersifat luas, mempekerjakan lebih dari 100 pekerja KGB di seluruh dunia.³⁶ Berkas tersebut juga membuktikan bahwa agen-agen ini bersifat produktif, mengumpulkan volume besar materi dan informasi S&T dari negara-negara Barat. Kabarnya, 61,5% materi spionase S&T datang dari AS, 10,5% dari Jerman Barat, 8% dari Prancis, 7,5% dari Inggris Raya dan 3% dari Jepang.³⁷

Upaya-upaya Line X merupakan kesuksesan yang mempesona. Menurut penaksiran-penaksiran CIA sendiri tahun 1982, Soviet telah mengakuisisi dan ‘meniru secara seluruhnya’ rudal udara ke udara Sidewinder AIM-9 AS, yang memberi negara tersebut rudal berpemandu inframerah pertama, Vympel K-13.³⁸ Sidewinder hanyalah satu di antara ratusan contoh lainnya. Soviet telah mengakuisisi rudal-rudal lainnya, seperti sistem MANPAD Redeye FIM-43 yang ditembakkan dari bahu, data tentang subsistem pandu ICBM Minuteman LGM-30 AS, data tentang rudal-rudal propelan padat, data radar pada sistem-sistem yang digunakan di atas F-14, F-15, F-18 serta informasi tentang berbagai macam sistem lainnya.³⁹

35 David G Major, ‘Selamat Jalan’, 1999, <https://cdn.ymaws.com/cicentre.com/resource/resmgr/articles/farewell_old_reason_by_david.pdf>, diakses pada 19 Juli 2022.

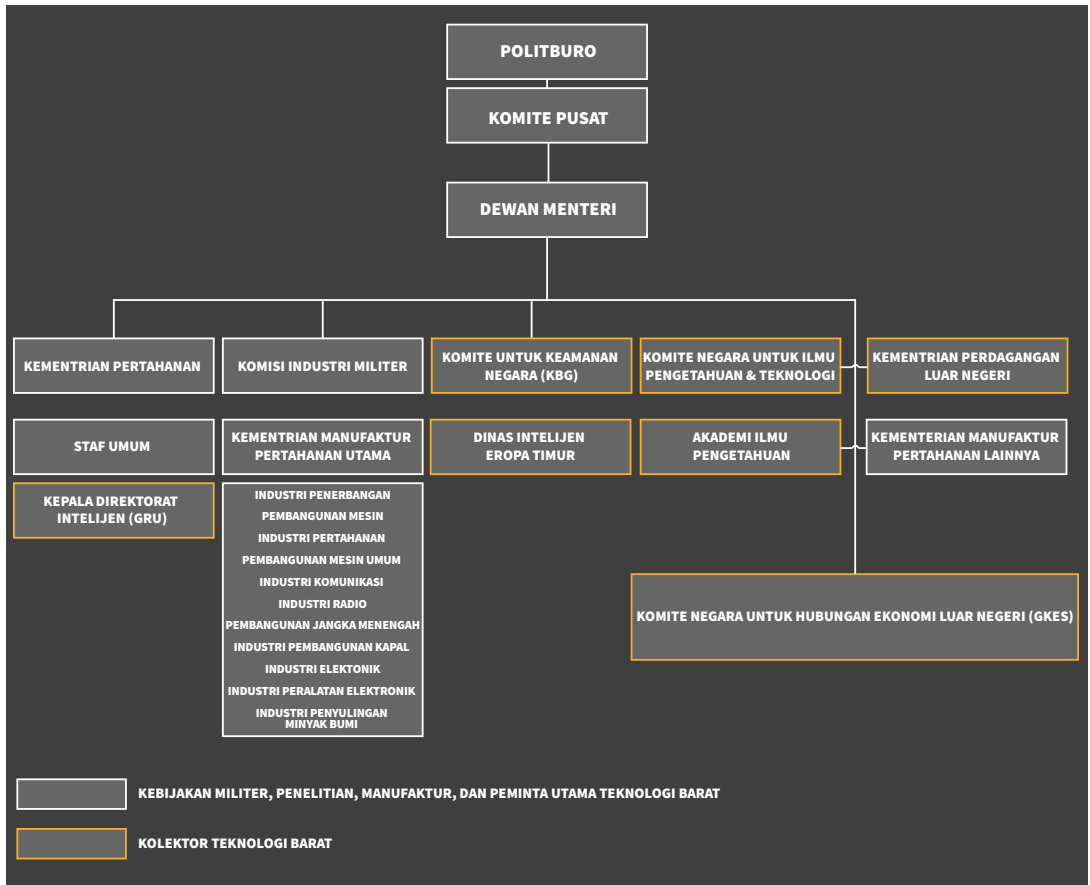
36 *Ibid.*

37 Christopher Andrew dan Vasili Mitrokhin, *The Mitrokhin Archive II: The KGB and the World* (London: Penguin Press, 2006), hal. 306.

38 CIA, ‘Memorandum Intelijen Antar Lembaga’, hal. 9. Sebuah teori alternatif akan bagaimana Uni Soviet mengakuisisi Sidewinder AIM-9 adalah bahwa sebuah AIM-9B yang belum diledakkan telah bersarang di dalam sebuah MiG-17 Cina pada sebuah keterlibatan tempur udara dengan Sabres F-86 Taiwan pada bulan September 1958. Rudal utuh tersebut kemudian kabarnya dikirim ke Uni Soviet untuk direkayasa ulang untuk mengembangkan Vympel K-13. Lihat Federasi Ilmuwan Amerika, ‘AA-2 ATOLL K-13 (R-3 or Object 310) PL-2 / PL-3 / PL-5’, <<https://web.archive.org/web/20160304041942/http://fas.org/man/dod-101/sys/missile/row/aa-2.htm>>, diakses pada 20 Juli 2022.

39 CIA, ‘Interagency Intelligence Memorandum’, p. 9.

Figure 5: Entitas Soviet yang Bertanggung Jawab untuk Pengarahan dan Pengadaan Teknologi Barat



Sumber: Frank Dittmann, 'Microelectronics under Socialism'; RUSI.

Runtuhnya Uni Soviet ternyata hanya sementara melambatkan kegiatan-kegiatan ini. Pada tahun 2012, misalnya, 11 individu didakwa atas tuduhan mengoperasikan arena penyelundupan untuk mengeksport teknologi kritis seperti perangkat mikroelektronik 'terutama bagi badan-badan pemerintah Rusia' termasuk badan militer dan badan intelijen Rusia.⁴⁰ Menurut laporan-laporan media pada waktu itu,⁴¹ arena penyelundupan tersebut menargetkan beberapa perusahaan AS, termasuk Texas Instruments dan Analog Devices, yang mengklaim bahwa mereka ditipu oleh para pekerja Rusia yang bekerja

untuk Arc Electronics, sebuah perusahaan cangkang (front company) yang digunakan untuk mengadakan komponen ini dan mengangkutnya kembali ke Rusia.⁴² Dokumen-dokumen yang diajukan oleh Departemen Kehakiman AS menyatakan bahwa, antara 2002 dan 2012, Arc Electronics mengirimkan barang bernilai 50 juta Dolar AS ke pemasok-pemasok peralatan militer ke Kementerian Pertahanan Rusia.⁴³

Pada beberapa bulan terakhir, pemerintah AS telah terus mengejar jaringan-jaringan pengadaan klandestin Rusia. Hanya satu

40 Pengadilan Negeri AS Distrik New York Timur, 'Amerika Serikat Melawan Alexander Fishenko, et al.', dakwaan, 28 September 2012, <https://www.wired.com/images_blogs/dangerroom/2012/10/indictment.pdf>, diakses pada 20 Juli 2022.

41 Christie Smythe, Iain King dan Bloomberg News, 'Texas Instruments, Xilinx Ditipu oleh Arena Ekspor Rusia, Ujar AS', *Washington Post*, 26 September 2015.

42 *Ibid.*

43 Kantor Kejaksaan Departemen Kehakiman AS, 'Eksportir Perangkat mikroelektronik ke Militer Rusia Dijatuhi 135 Bulan Penjara Menyusul Dakwaan atas Semua Tuduhan pada Persidangan', 28 Februari 2017, <<https://www.justice.gov/usao-edny/pr/exporter-microelectronics-russian-military-sentenced>>, diakses pada 20 Juli 2022.

Tali Penolong Silikon: Elektronik Barat di Jantung Mesin Perang Rusia

bulan setelah invasi tahun 2022, Departemen Keuangan AS menyebutkan lebih dari 30 individu dan perusahaan yang dituduh mengadakan teknologi kritis Barat atas nama badan-badan intelijen Rusia. Penyebutan ini termasuk sebuah jaringan yang berpusat pada sebuah entitas Rusia bernama Serniya Engineering, yang diklaim oleh Departemen Keuangan AS mengarahkan sebuah jejaring kompleks perusahaan-perusahaan di Inggris Raya, Malta, Singapura, Spanyol dan Rusia.⁴⁴

Sementara Serniya Engineering kabarnya didirikan pada tahun 2017,⁴⁵ perusahaan yang sebelumnya menggunakan domain 'Serniya Engineering', NPO Sernia, dulunya terdaftar pada domain yang sama dan mendaftarkan lingkup usaha yang sama seperti Serniya Engineering. Laporan tambahan mencatat bahwa NPO Sernia dibubarkan pada tahun 2016,⁴⁶ sementara Serniya Engineering didirikan pada tahun 2017.

Akan tetapi, kronologi-kronologi ini tidak sejalan dengan laporan sumber terbuka lain. Contoh-contoh yang diarsipkan akan situs Serniya Engineering memperlihatkan ia didirikan sekitar tahun 1998,⁴⁷ dan artikel-artikel yang dipublikasikan pada April 2021 mencatat bahwa Serniya Engineering didirikan pada akhir 1980-an di bawah Departemen Fisika Moskow – lokasi yang sama persis dengan tempat NPO Sernia beralamat selama bertahun-tahun.⁴⁸

Laman-laman yang diarsipkan dari situs NPO Sernia menyatakan bahwa sebagian dari proyek-proyek kuncinya adalah atas nama Kementerian Urusan Luar Negeri dan badan-badan pemerintah lainnya. Lambang badan ini, diterbitkan pada situs webnya antara tahun 2007 dan tahun 2013, termasuk Dinas Keamanan Federal (FSB) dan Dinas Perlindungan Federal (FSO).⁴⁹

44 Departemen Keuangan AS, 'Departemen Keuangan AS Menargetkan Jaringan Penghindaran Sanksi dan Perusahaan Teknologi Rusia yang Memampukan Perang Putin', siaran perspress release, 31 Maret 2022, <<https://home.treasury.gov/news/press-releases/jy0692>>, diakses pada 20 Juli 2022.

45 rusprofile, 'LLC "Serniya Engineering"', terakhir diperbarui tanggal 21 Juli 2022, dapat ditemukan pada <<https://www.rusprofile.ru/id/10885594>>, diakses pada 23 Juli 2022.

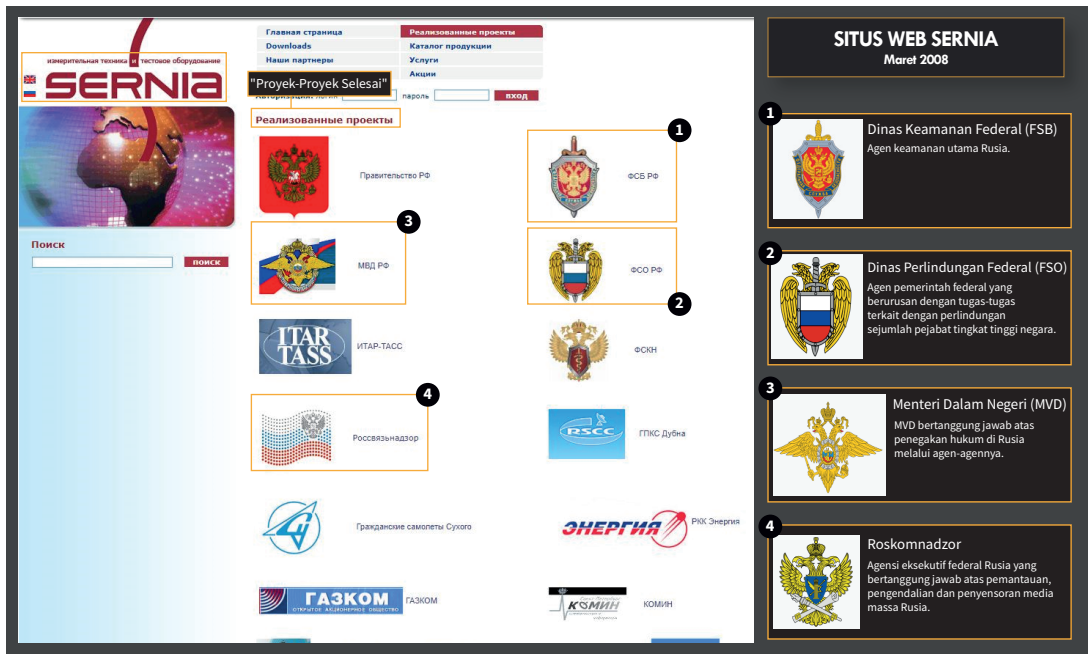
46 Laporan oleh the *Financial Times*, yang berkorespondensi dengan Serniya Engineering, mencatat NPO Sernia dibubarkan pada bulan Maret 2016. Lihat Jamie Powell, 'What on Earth is Djeco Group?', *Financial Times*, 25 Maret 2022. Informasi tersebut dapat ditemukan pada <<https://www.ft.com/content/63c80363-644d-4981-a144-c618144845e6>>, diakses pada 22 Juli 2022.

47 Untuk laman yang diarsipkan dari bulan Juli 2007, lihat Sernia.ru, 'O Kompanii' ['About the Company'], diakses melalui Wayback Machine, <https://web.archive.org/web/20070715005149/http://www.sernia.ru/?aux_page=about_company>, diakses pada 19 Juli 2022.

48 TMC, 'Wawancara dengan Pegawai Sernia Engineering', <<https://go.techmfg.com/l/910112/2021-04-29/9r3l>>, diakses pada 20 Juli 2022.

49 Untuk laman yang diarsipkan dari bulan Agustus 2013, lihat Sernia.ru, 'Realizovannnye proekti' ['Proyek-Proyek Selesai'], diakses melalui Wayback Machine, <https://web.archive.org/web/20130830145236/http://www.sernia.ru/relized_projects>, diakses pada 19 Juli 2022. Lihat juga Powell, 'Apa Itu Djeco Group?.'

Figure 6: Situs web lama Sernia Memerlihatkan Lambang-Lambang FSB dan FSO



Sumber: Serniya.ru; RUSI.

Sebuah simpul pusat di dalam jaringan Serniya Engineering adalah perusahaan berbasis di Rusia Sertal LLC.⁵⁰ Beralamat pada sebuah blok apartemen tidak mencolok di pinggiran Moscow, situs web perusahaan tersebut mengiklankan dirinya sebagai sebuah ‘pemasok komponen elektronik’ yang diproduksi oleh Texas Instruments, Analog Devices, Cypress

Semiconductors, NXP Semiconductors, STMicroelectronics dan banyak lainnya.⁵¹ Pada khususnya, komponen-komponen yang diproduksi oleh perusahaan-perusahaan ini merupakan sebagian dari yang paling banyak ditemukan pada platform-platform senjata Rusia di Ukraina.

50 Departemen Keuangan AS, ‘Departemen Keuangan AS menargetkan Jaringan Penghindaran Sanksi dan Perusahaan Teknologi Rusia yang Memampukan Perang Putin’, siaran pers, 31 Maret 2022, <<https://home.treasury.gov/news/press-releases/jy0692>>, diakses pada 19 Juli 2022.

51 Versi Sertal.ru yang diarsipkan dapat ditemukan pada <https://web.archive.org/web/2022000000000*/sertal.ru>, diakses pada 19 Juli 2022.

Figure 7: Situs web Sertal pada Februari 2022



Sumber: Sertal.ru; RUSI.

Rekaman-rekaman perdagangan tingkat pengiriman mengkonfirmasi bahwa Sertal memindahkan barang-barang buatan AS jenis-jenis ini. Baru-baru ini pada bulan Maret 2021, misalnya, Sertal mengimpor sirkuit terpadu elektronik bernilai 600.000 Dolar AS yang diproduksi oleh Texas Instruments melalui perantara Hong Kong.⁵² Tujuh bulan kemudian, perusahaan tersebut kembali mengimpor sirkuit terpadu elektronik bernilai 1,1 juta Dolar AS dari eksportir Hong Kong yang sama, kali ini diproduksi oleh Xilinx.⁵³

PENCURIAN BESAR ANALOG

Meski Rusia telah lama berusaha untuk mengolah industri semikonduktor dalam negeri, data yang dianalisa untuk laporan ini memperlihatkan bahwa senjata negara ini penuh dengan komponen yang asalnya diproduksi oleh perusahaan-perusahaan AS. Kedua perusahaan yang paling menonjol adalah Analog Devices dan Texas Instruments, keduanya produsen perangkat mikroelektronik

yang menawarkan produk-produk yang terspesialisasi dalam aplikasi pertahanan.

Bahkan, dari 450 komponen unik di dalam kumpulan data RUSI, produk-produk yang diproduksi oleh Analog Devices dan Texas Instruments berjumlah hampir seperempat dari yang ditemukan di dalam senjata Rusia. Komponen-komponen ini, mulai dari yang biasa hingga yang sangat khusus, terdapat pada sistem-sistem paling kritis seperti rudal balistik dan rudal jelajah, munisi presisi lain serta platform-platform Peperangan Elektronik (EW).

Secara keseluruhan, kumpulan data tersebut mengandung 50 komponen unik yang diproduksi oleh Analog Devices, 13 di antaranya diklasifikasikan sebagai barang kegunaan ganda di bawah hukum AS, yang berarti bahwa eksportir berkemungkinan besar memerlukan lisensi untuk mengekspornya ke luar negeri. Komponen-komponen ini terutama adalah mikroprosesor dan mikroer,⁵⁴ tapi juga termasuk

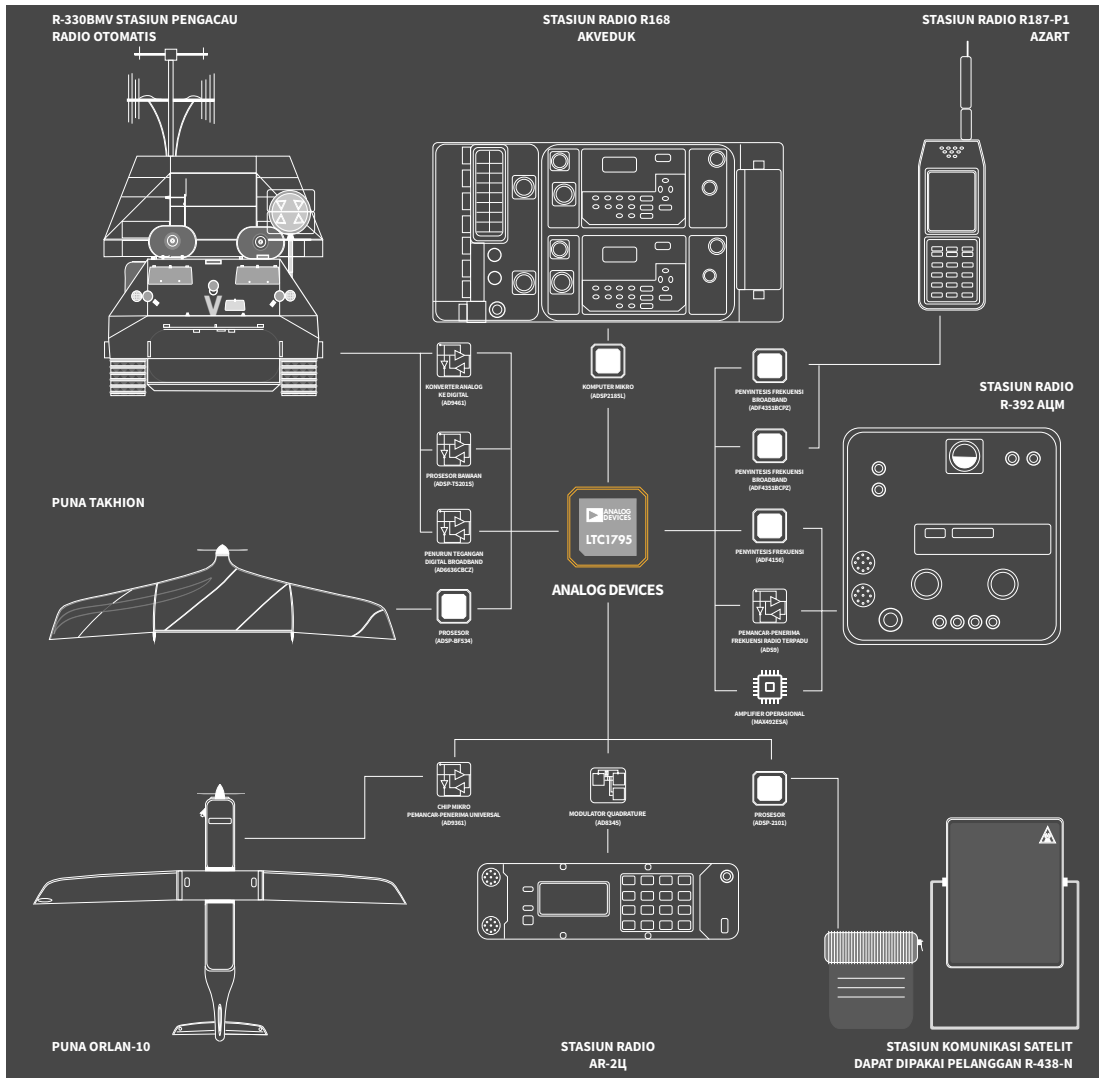
52 Data perdagangan yang diberikan oleh penyedia komersial pihak ketiga.

53 *Ibid.*

54 ECCN 3A991.a.2 – sebuah mikroprosesor atau mikroer dengan laju frekuensi clock melampaui 25 MHz. Lihat Biro Perindustrian dan Keamanan Departemen Perdagangan AS, ‘Daftar Perdagangan: KATEGORI 3 – ELEKTRONIKA’, <<https://www.bis.doc.gov/index.php/documents/regulations-docs/442-category-3-electronics-design-development->

peralatan komunikasi mobile,⁵⁵ peralatan transmisi telekomunikasi⁵⁶ dan konverter A/D.⁵⁷

Figure 8: Komponen ECCN Buatan Analog Devices dalam Senjata Rusia



Sumber: RUSI.

and-production/file>, diakses pada 19 Juli 2022.

- 55 ECCN 5A991.g – peralatan komunikasi mobile. Lihat Biro Perindustrian dan Keamanan Departemen Perdagangan AS, ‘Daftar Perdagangan: KATEGORI 5 – TELEKOMUNIKASI DAN “KEAMANAN INFORMASI”’, <<https://www.bis.doc.gov/index.php/documents/regulations-docs/2336-ccl5-pt1-3/file>>, diakses pada 19 Juli 2022.
- 56 ECCN 5A991.b – peralatan dan sistem transmisi telekomunikasi yang dirancang untuk penggunaan pada komunikasi saluran tunggal atau ganda. Lihat Biro Perindustrian dan Keamanan Departemen Perdagangan AS, ‘Daftar Perdagangan: KATEGORI 5 – TELEKOMUNIKASI DAN “KEAMANAN INFORMASI”’.
- 57 ECCN 3A001.a.5.a.5 – sebuah konverter A/D dengan resolusi 16-bit atau lebih tinggi dan laju output lebih tinggi dari 65 juta kata per detik. Lihat Biro Perindustrian dan Keamanan Departemen Perdagangan AS, ‘Daftar Perdagangan: KATEGORI 3 – ELEKTRONIKA’.

Tali Penolong Silikon: Elektronika Barat di Jantung Mesin Perang Rusia

Didirikan pada tahun 1965, Analog Devices merupakan produsen terkemuka dunia semikonduktor yang mengkhususkan diri dalam sirkuit terpadu untuk konversi data, pemrosesan sinyal dan manajemen daya.⁵⁸ Banyak dari produk-produk ini yang secara khusus dirancang untuk aplikasi pertahanan dan kedirgantaraan dan digunakan oleh militer AS dalam munisi presisi, avionik, sistem array bertahap, komunikasi militer, sistem pengintai elektronik dan PUNA.⁵⁹

Sebagai contoh, konverter A/D perusahaan tersebut sering kali digunakan dalam sistem rudal MIM-104 Patriot SAM dan AIM-120 AMRAAM.⁶⁰ Komponen-komponen ini menerjemahkan sinyal dunia nyata analog yang dikumpulkan oleh sensor integral ke dalam output digital yang dapat diproses oleh komputer.⁶¹ Pada rudal jelajah, komponen-komponen ini dapat mengaktifkan sensor sistem untuk mentransmisi data waktu nyata ke komputer integral yang bertanggung jawab untuk memandu muatan ke targetnya.⁶²

Salah satu konverter A/D Analog Devices, AD9461, ditemukan di dalam papan pengacau sistem Peperangan Elektronik R-330BMV Borisoglebsk-2 Angkatan Darat Rusia. Pada platform-platform jenis ini, konverter A/D memperkuat performa dengan membolehkan sebuah receiver untuk beroperasi pada bidang frekuensi lebar untuk mengidentifikasi sinyal ancaman.⁶³ Seperti banyak komponen lain yang ditemukan pada platform-platform senjata

Rusia, konverter spesifik ini diklasifikasikan sebagai barang kegunaan ganda dan dibatasi untuk ekspor,⁶⁴ kemungkinan berarti bahwa ia diadakan secara rahasia atas nama angkatan bersenjata atau badan intelijen Rusia.

Beberapa komponen terkontrol lain yang asalnya diproduksi oleh Analog Devices ditemukan dalam sistem-sistem senjata Rusia. Ini termasuk sebuah prosesor sinyal receiver bidang lebar (digital) AD6636CBCZ wideband (digital) pada papan pengacau sistem Peperangan Elektornik R-330BMV Borisoglebsk-2 yang sama, sebuah pemancar-penerima tangkas frekuensi radio AD9361 pada modul transmisi informasi muatan PUNA Orlan-10, serta sebuah Blackfin Processor pada modul navigasi dan pemosisian sebuah PUNA Takhion.

Sementara RUSI menemukan lebih dari selusin komponen-komponen berbeda-beda jenis yang dikontrol pada platform senjata Rusia, 37 lagi suku cadang perusahaan ini ditemukan pada beberapa sistem lainnya. Itu termasuk komponen di dalam sebuah Kh-59MK ASHM, dan platform SIGINT Torn-MDM. Komponen yang tidak dikontrol ini, antara lain, termasuk amplifier operasional, pemancar-penerima RS-232, manajemen daya, microchip, sakelar frekuensi radio dan sensor suhu.

SEGALANYA LEBIH BAIK DI TEXAS

Komponen yang diproduksi oleh Texas Instruments juga lebih berpengaruh dalam

58 Analog Devices, 'Informasi Perusahaan', <<https://www.analog.com/en/about-adi/corporate-information.html>>, diakses pada 19 Juli 2022.

59 Analog Devices, 'Kedirgantaraan dan Pertahanan', <<https://www.analog.com/en/applications/markets/aerospace-and-defense-pavilion-home.html>>, diakses pada 19 Juli 2022.

60 Elektronika Kedirgantaraan Militer, 'Analog Devices akan Mensuplai Konverter A-D Baru untuk Rudal Patriot', 1 Februari 2000, <<https://www.militaryaerospace.com/communications/article/16706596/analog-devices-to-supply-new-ad-converter-for-patriot-missile>>, diakses pada 19 Juli 2022.

61 Arrow, 'Jenis & Fungsi Dasar Konverter Analog-ke-Digital (ADC)', 5 Februari 2019, <<https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/analog-to-digital-adc-converter-types-and-basic-functions>>, diakses pada 19 Juli 2022.

62 Departemen Perdagangan Internasional, 'OGEL dan Alat Pemeriksa Barang', <https://www.ecochecker.trade.gov.uk/spirefox5live/fox/spire/OGEL_GOODS_CHECKER_LANDING_PAGE/new>, diakses pada 20 Juli 2022.

63 Rajesh Uppal, 'Konverter Analog-ke-Digital Kecepatan Ultra Tinggi DARPA untuk Meningkatkan Kinerja Radar, Peperangan Elektronik serta Komunikasi', IDST, 25 Januari 2017, <<https://idstch.com/technology/electronics/darpa-s-analog-to-digital-converter-adc-programs-to-improve-performance-of-radar-electronic-warfare-and-communications/>>, diakses pada 20 Juli 2022.

64 ECCN 3A001.a.5.a.5 – sebuah konverter A/D dengan resolusi 16-bit atau lebih tinggi dan laju output lebih tinggi dari 65 juta kata per detik. Lihat Biro Perindustrian dan Keamanan Departemen Perdagangan AS, 'Daftar Perdagangan: KATEGORI 3 – ELEKTRONIK'.

beberapa sistem senjata penting Rusia yang dibongkar di Ukraina. Didirikan pada tahun 1930, Texas Instruments telah berevolusi menjadi salah satu perusahaan semikonduktor terbesar dunia berdasarkan volume penjualan,⁶⁵ kabarnya memegang lebih dari 41.000 paten.⁶⁶ Seperti Analog Devices, Texas Instruments yang berbasis di Dallas juga merancang komponen-komponen kelas atas untuk industri-industri kedirgantaraan dan pertahanan dan memiliki sejarah panjang di dunia perangkat mikroelektronik militer canggih.⁶⁷

Di AS, komponen-komponen kelas militer dan performa tinggi perusahaan tersebut telah digunakan pada beragam sistem militer, seperti unit kendali penerbangan untuk pesawat terbang, receiver GPS, sistem radar, sistem sonar, sistem Peperangan Elektronik, amunisi pintar dan tak terhitung lainnya.⁶⁸ Sebagai

contoh, prosesor sinyal digital multicore perusahaan tersebut juga populer untuk memproses perintah pada berbagai sistem radar berkinerja tinggi,⁶⁹ termasuk radar aperture sintetis militer untuk mengumpulkan citraan pada malam hari dan melintasi awan.⁷⁰

Lebih dari 50 komponen unik dari Texas Instruments ditemukan pada beberapa sistem senjata Rusia, termasuk prosesor sinyal digital yang ditemukan pada beragam modul komputasi dan modul pemrosesan di dalam rudal jelajah serangan darat 9M727, sebuah pemancar-penerima CAN yang ditemukan di dalam detonator elektronik PUNA 'kamikaze' KUB-BLA, modul-modul manajemen daya dalam sebuah drone target E95M dan PUNA Orlan-10, kodek dan konverter audio pada beberapa perangkat radio yang digunakan oleh Angkatan Darat Rusia.

65 Texas Instruments, 'TI Secara Sekilas', <<https://www.ti.com/about-ti/company/ti-at-a-glance.html>>, diakses pada 19 Juli 2022.

66 Texas Instruments, 'Lembar Fakta TI', <<https://web.archive.org/web/20160719151815/http://www.ti.com/corp/docs/company/factsheet.shtml>>, diakses pada 19 Juli 2022.

67 Texas Instruments, 'Kedirgantaraan & Pertahanan', <<https://www.ti.com/applications/industrial/aerospace-defense/overview.html>>, diakses pada 19 Juli 2022.

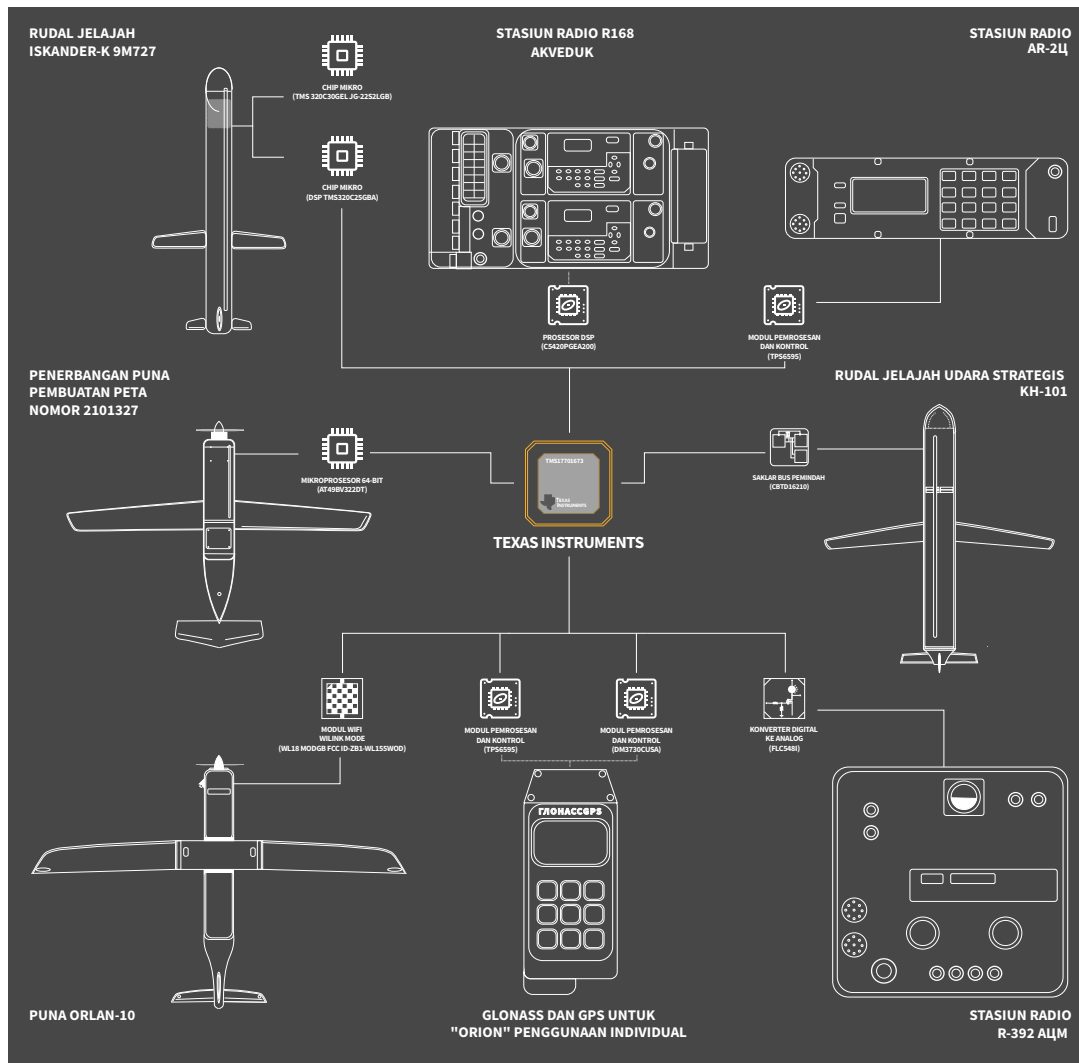
68 *Ibid.*

69 John McHale, 'Sistem Radar Kinerja Tinggi Dimungkinkan oleh DSPS Multicore TI Baru', *Military Embedded Systems*, 28 Maret 2012, <<https://militaryembedded.com/radar-ew/signal-processing/high-performance-radar-systems-enabled-by-new-ti-multicore-dsps>>, diakses pada 20 Juli 2022.

70 Dan Wang dan Murtaza Ali, 'DSPS Multicore Meningkatkan Pemrosesan Radar Apertur Sintetis', *Military Embedded Systems*, 10 September 2013, <<https://militaryembedded.com/radar-ew/signal-processing/multicore-aperture-radar-processing>>, diakses pada 20 Juli 2022.

Tali Penolong Silikon: Elektronika Barat di Jantung Mesin Perang Rusia

Figure 9: Komponen ECCN Buatn Texas Instruments dalam Senjata Rusia



Sumber: RUSI.

Komponen-komponen lain yang diproduksi oleh Texas Instruments juga ditemukan di dalam ALCM Kh-101, sebuah senjata canggih yang digunakan untuk menyerang berbagai target yang jauh di Ukraina, termasuk infrastruktur penting dan pusat-pusat populasi kota.⁷¹ Sebagian dari komponen-komponen tersebut berada di dalam modul prosesor Kh-101 – sebuah sistem yang membantu memandu rudal menuju target – seperti receiver garis diferensial

segi empat CMOS DS26C32ATM, yang diproduksi untuk mematuhi standar-standar militer.⁷²

Securangnya 10 komponen Texas Instrument yang ditemukan pada platform-platform senjata ini berada di bawah ekspor AS. Ini termasuk prosesor sinyal digital TMS320 C25GBA dan TMS320 C30GEL, keduanya terdapat di dalam GLCM 9M727.⁷³

71 Lorenzo Tondo, 'Rudal Rusia Menyerang Kyiv untuk Pertama Kali dalam Tiga Minggu', *The Guardian*, 26 Juni 2022.

72 Texas Instruments, 'DS26C32ATM/NOPB - Receiver Garis Diferensial Segi Empat CMOS', <<https://www.ti.com/product/DS26C32AT/part-details/DS26C32ATM/NOPB>>, 20 Juli 2022.

73 ECCN 3A991.a.2 – sebuah mikroprosesor atau mikroer dengan laju frekuensi clock melampaui 25 MHz. Lihat Biro Perindustrian dan Keamanan Departemen Perdagangan AS, 'Daftar Perdagangan: KATEGORI 3 – ELEKTRONIKA'.

SISI GELAP TOKYO

Sementara AS telah sering menjadi 'target nomor satu' jaringan-jaringan pengadaan ilegal Rusia, negara-negara lain dengan industri manufaktur dan semikonduktor canggih juga telah berada pada daftar belanja teratas Kremlin.

Pada akhir 1950-an dan awal 1960-an, keajaiban ekonomi Jepang di tahun-tahun pasca perang mendorong negara tersebut ke tingkatan teratas perekonomian global – sebuah transformasi yang sebagian digerakkan oleh industri semikonduktor yang sedang berkembang negara tersebut. Namun seraya konglomerat-konglomerat Jepang seperti Sony dan Toshiba menjadi nama-nama terkenal di bidangnya, mereka juga menarik perhatian tim spionase teknis KGB.

Pada bulan Juni 1971, kepala sebuah perusahaan teknologi tinggi di Jepang yang beroperasi dengan kode Soviet TONDA memberi para pejabat operasional KGB dua volume dokumen rahasia tentang sistem komputer mikroelektronik baru untuk digunakan oleh angkatan udara dan divisi rudal AS.⁷⁴ Terdapat kudeta intelijen teknis lainnya di Jepang dan, pada akhir 1970-an, Oleg Guryanov yang bermukim di Tokyo mengatakan kepada stafnya bahwa 'hasil dari operasi-operasi yang dilaksanakan oleh para perwira [Line X] ini tiap tahunnya akan menutup seluruh pengeluaran residensi kita di Tokyo dengan masih ada sisa uang. Bahkan, di seluruh dunia, intelijen teknis secara sendirian menutup semua biaya seluruh dinas intelijen asing KGB'.⁷⁵

Platform-platform senjata yang dianalisa untuk laporan ini mengindikasikan bahwa teknologi

Jepang tetap penting bagi angkatan bersenjata Rusia. Sejumlah 34 komponen unik yang terkandung di dalam kumpulan data tersebut dirancang dan diproduksi oleh perusahaan-perusahaan Jepang, menjadikannya negara asal paling umum di luar AS. Komponen-komponen ini datang dari lebih dari selusin perusahaan dan termasuk kamera-kamera yang diproduksi oleh perusahaan-perusahaan terkenal seperti Panasonic dan Canon, atenuator langkah digital buatan Fujitsu, suatu unit pengukuran inersia yang diproduksi oleh TDK Corporation, dan mesin pesawat model yang diproduksi oleh Saito Seisakusho.

Namun demikian, komponen-komponen Jepang yang paling lazim adalah kapasitor keramik berlapis dan induktor dudukan permukaan yang diproduksi oleh Murata Manufacturing – salah satu perusahaan elektronik tertua Jepang. Didirikan pada tahun 1944, Murata terutama merancang dan memproduksi solusi dan komponen pasif berbasis keramik.⁷⁶ Tidak seperti banyak firma elektronik lainnya, situs web Murata dengan baik hati meminta agar produk-produknya tidak digunakan baik dalam senjata pemusnah massal atau senjata sejenis yang konvensional.⁷⁷

Namun demikian, Rusia tampaknya mengabaikan permintaan tersebut, sebab beberapa komponen Murata ditemukan di dalam sistem SIGINT Torn-MDM dan perangkat radio militer AR-2C. Sistem SIGINT Torn-MDM merupakan sebuah platform yang terbilang baru yang dirancang untuk mencari, menganalisa dan merekam sinyal radio, sekaligus menentukan arah dan lokasi transmisi tersebut dalam radius hingga 70 km.⁷⁸

74 Andrew dan Mitrokhin, *The Mitrokhin Archive II*, hal. 306.

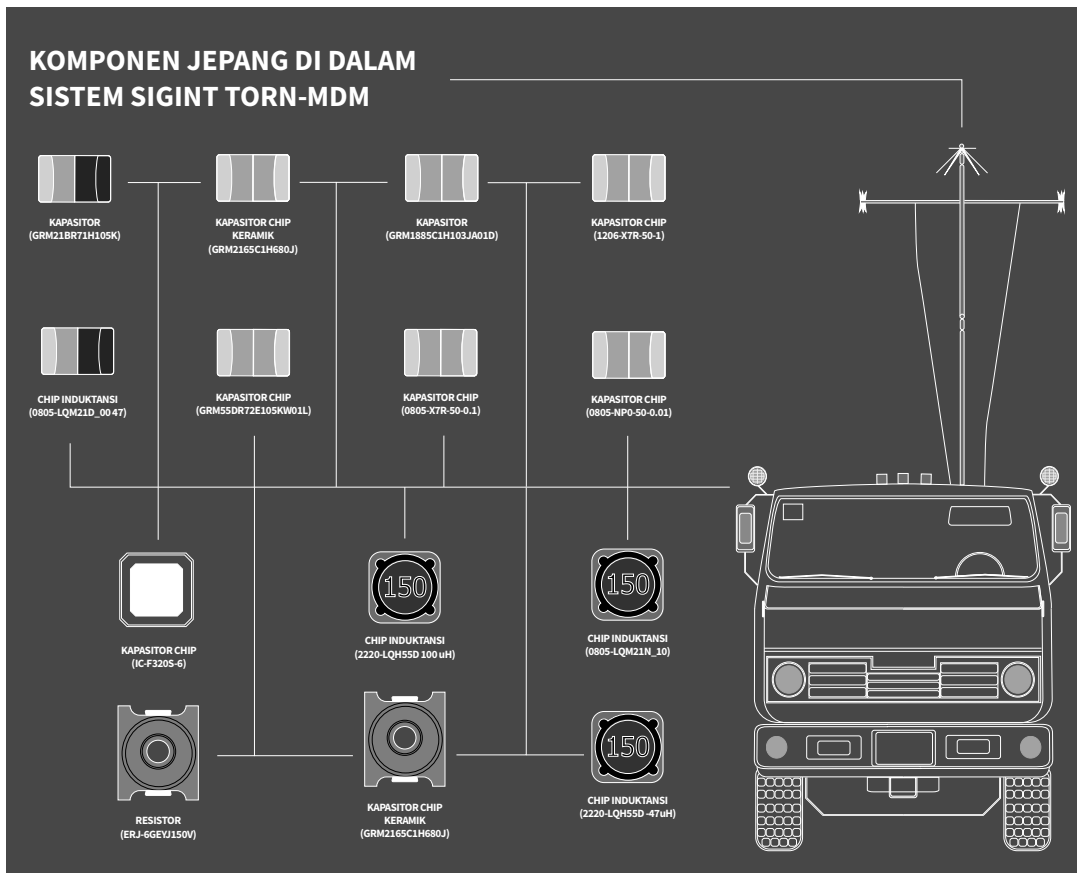
75 *Ibid.*, p. 308. Awalnya dirujuk dalam Stanilav Levchenko, *On the Wrong Side: My Life in the KGB* (University of Michigan: Pergamon-Brassey's International Defense Publishers: 1988), hal. 104.

76 Murata Manufacturing, 'Fakta dan Angka', <<https://corporate.murata.com/en-global/company/factsandGambars>>, diakses pada 20 Juli 2022.

77 Murata Manufacturing, 'Pembatasan atas Senjata Pemusnahan Massal dan Senjata Konvensional', <<https://www.murata.com/en-global/support/militaryrestriction>>, diakses pada 20 Juli 2022.

78 Pusat Militer Ukraina, 'Tentara Ukraina Menangkap Sistem SIGINT Torn-MDM Rusia', 17 Maret 2022, <<https://mil.in.ua/en/news/ukrainian-army-captured-russian-torn-mdm-sigint-system/>>, diakses pada 20 Juli 2022.

Figure 10: Komponen Jepang di dalam Sistem SIGINT Torn-MDM



Sumber: RUSI.

DARI SETURUT KEMAMPUAN MENJADI SETURUT KEBUTUHAN

Meskipun industri-industri semikonduktor Asia Timur telah menjadi sebuah bagian penting dari rantai pasok militer Rusia, kekayaan sains dan teknologi negara-negara Eropa Barat selalu didambakan oleh pasukan-pasukan khusus Rusia dan tetap menjadi target prioritas bagi tim-tim spionase teknis negara tersebut.

Operasi-operasi ini sudah dimulai dengan sungguh-sungguh bahkan sebelum terbentuknya Uni Soviet pada 28 Desember 1922. Pada tahun 1921 atau 1922, Departemen (Intelijen) Staf Umum Tentara Merah – yang kemudian berganti nama menjadi GRU – mengirimkan Aaron dan Abraham Ehrenlieb ke Berlin tempat mereka mendirikan Far Eastern Trading Company, yang juga dirujuk sebagai Wostwag.⁷⁹

Dalam tradisi lama menggunakan perusahaan cangkang komersial, GRU mengoperasikan Wostwag sebagai selubung asap bagi intelijen militer dan pada akhirnya menghibahkan kepada perusahaan tersebut atas ekspor senjata Soviet.⁸⁰

Selama masa abad selanjutnya, operasi-operasi spionase dan pengadaan S&T Rusia telah membuktikan suatu benang merah tetap yang menghubungkan dua sistem politik dan ekonomi yang sering kali bermusuhan. Namun sementara kedatangan Perang Dingin memungkinkan berbagai embargo ekspor teknologi ke Uni Soviet,⁸¹ keruntuhan sistemnya pada awal 1990-an memberi Kremlin kesempatan untuk secara sah membeli dan mengintegrasikan volume-volume besar teknologi canggih ke dalam sistem-

79 David R Stone, 'Ekspor Senjata Soviet pada 1920-an', *Journal of Contemporary History* (Vol. 48, No. 1, Januari 2013), hal. 57-77.

80 *Ibid.*

81 Komite Koordinasi untuk Ekspor Multilateral (CoCom).

sistem senjata yang telah digunakan untuk menargetkan non-kombatan dan infrastruktur sipil Ukraina dan Syria.

Bahkan, data yang dianalisa untuk laporan ini mengindikasikan bahwa komponen-komponen yang diproduksi oleh perusahaan-perusahaan Eropa adalah umum di dalam sistem-sistem militer Rusia. Kasus teropong pendeteksi panas (thermal sight) Catherine FC – yang diproduksi oleh perusahaan Prancis Thales – pada platform tempur Rusia didokumentasikan dengan baik.⁸² Akan tetapi, yang kurang diapresiasi adalah bagaimana jaringan pengadaan Rusia sering kali menargetkan firma-firma Eropa yang lebih kecil dan bersifat spesialis untuk menguasai peralatan kelas tinggi yang tidak dapat dengan mudah diperoleh dari sumber lain.

MEMANTAU SWISS

Swiss merupakan produsen terbesar ke-empat komponen unik yang ditemukan di dalam sistem-sistem senjata Rusia, dengan sejumlah perusahaan Swiss terwakili di dalam kumpulan data, termasuk STMicroelectronics dan u-blox. Sejumlah 18 komponen unik di dalam kumpulan data diproduksi oleh perusahaan-perusahaan Swiss.

STMicroelectronics merupakan produsen Prancis-Italia bermarkas besar di Jenewa.⁸³ Perusahaan tersebut terutama memproduksi modul memori, mikroprosesor, transistor dan mikroer, termasuk seri STM32 yang populer itu.⁸⁴ Delapan dari mikroer STM32 ini dipulihkan dari berbagai PUNA, termasuk Orlan-10, E95M, Eleron-3SV dan KUB-BLA. Terutama, chip-chip ini umum ditemukan di dalam beberapa dari

sub-sistem PUNA tersebut, seperti pengendali penerbangan, sistem navigasi dan pemosisian, serta papan kendali suplai daya.

Mengingat skala armada PUNA Rusia serta laju erosi tinggi yang diasosiasikan dengan pengoperasian platform-platform tersebut di ruang angkasa yang diperebutkan, angkatan-angkatan bersenjata Rusia tentulah telah dapat mengakuisisi komponen-komponen tersebut dalam jumlah yang signifikan sebelum invasi ke Ukraina pada Februari 2022. Namun, beberapa mikroer STM32 yang terdapat di dalam sistem tersebut berada di bawah ekspor AS.⁸⁵ Produk-produk lain yang diproduksi oleh STMicroelectronics mencakup sebuah transistor daya frekuensi radio PD55003 yang ditemukan pada sebuah perangkat radio R-168 dan dua paket datar segi empat tipis (TQFP) 44-lead yang dipulihkan dari sistem navigasi satelit SN-99 sebuah ALCM Kh-101.

u-blox, sementara itu, merupakan perancang dan pemasok semikonduktor dan modul yang mendukung sistem satelit navigasi global (GNSS), termasuk receiver untuk GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou dan QZSS.⁸⁶ Seri M8 modul GNSS-nya terdapat di dalam pelacak GPS dan sistem navigasi dan pemosisian Orlan-10, juga di dalam perangkat radio AR-2C. Modul-modul tersebut juga berada di bawah ekspor AS.⁸⁷

82 Andrew Rettman, 'Mata Prancis untuk Macan Rusia', *euobserver*, 25 Agustus 2015, <<https://euobserver.com/investigations/129953>>, diakses pada 20 Juli 2022; Oleksandr Dubilet, 'Perusahaan Senjata Prancis Menerobos Sanksi untuk Membantu Rusia Membangun Senjata', *New Voice of Ukraine*, 21 Juni 2022, <<https://english.nv.ua/business/total-isolation-of-russia/military-thermal-imagers-for-the-russian-army-the-french-company-thales-cooperated-with-russia-aft-50247461.html>>, diakses pada 20 Juli 2022.

83 LinkedIn, 'STMicroelectronics', <<https://www.linkedin.com/company/stmicroelectronics/>>, diakses pada 20 Juli 2022.

84 STMicroelectronics, 'Beranda', <https://www.st.com/content/st_com/en.html>, diakses pada 20 Juli 2022.

85 ECCN 3A991.a.2 – sebuah mikroprosesor atau mikroer dengan laju frekuensi clock melampaui 25 MHz. Lihat Biro Perindustrian dan Keamanan Departemen Perdagangan AS, 'Daftar Perdagangan: KATEGORI 3 – ELEKTRONIKA'.

86 u-blox, 'Kami Membangun untuk Bertahan Lama', <<https://www.u-blox.com/en/we-build-last>>, diakses pada 20 Juli 2022.

87 ECCN 7A994 – peralatan pencari arah, peralatan komunikasi udara, sistem navigasi inersia pesawat terbang dan peralatan avionik lainnya. Lihat Biro Perindustrian dan Keamanan Departemen Perdagangan AS, 'Daftar Perdagangan: KATEGORI 7 - NAVIGASI DAN AVIONIK', <<https://www.bis.doc.gov/index.php/documents/regulations-docs/2339-category-7-navigation-and-avionics-2/file>>, diakses pada 20 Juli 2022.

Tali Penolong Silikon: Elektronika Barat di Jantung Mesin Perang Rusia

MENJADI BELANDA

Sejumlah 14 komponen berasal dari para produsen berbasis di Belanda, 10 di antaranya datang dari NXP Semiconductors dan juga dua dari mantan anak perusahaannya Nexperia. Meskipun rendah jumlah komponen yang terdapat di dalam kumpulan data total, komponen NXP terdapat di dalam 10 dari 27 sistem yang dianalisis.

Yang paling umum ditemukan adalah sensor tekanan, seperti MPXV5004DP, MPXV5010DP dan MPXV5010GP, yang ditemukan di dalam pengendali penerbangan PUNA KUB-BLA, Orlan-10 dan E95M. Pengendali penerbangan untuk KUB-BLA juga mengandung sebuah mikrokontroler buatan NXP, LPC2368FBD100, sebuah komponen yang dikontrol oleh AS.⁸⁸ Komponen NXP lainnya termasuk transistor frekuensi radio yang ditemukan di dalam beberapa perangkat radio serta peralatan navigasi GLONASS/GPS GROT-M. Terutama, modul prosesor BT33 ALCM Kh-101 yang mengandung pemancar-penerima bis yang diproduksi oleh NXP dan Nexperia.

LONDON MEMANGGIL

Sebagai sebuah ekonomi maju dengan basis industri pertahanan yang luas, Inggris Raya telah senantiasa berada di garis terdepan operasi-operasi spionase teknis Rusia. Agen pendukung dalam jumlah besar untuk perwira Line X KGB kabarnya berbasis di London pada 1980-an dan terlibat di dalam upaya ini, dengan salah satu target kunci mereka yaitu konglomerat kedirgantaraan dan pertahanan Rolls-Royce.⁸⁹

Meskipun hanya lima komponen buatan Inggris Raya yang ditemukan di dalam sistem-sistem senjata yang dipulihkan, sebagian dari suku cadang tersebut bersifat sangat terspesialisasi – seperti osilator dan kristal standar. Komponen-komponen khusus ini dirancang dan diproduksi oleh Golledge Electronics, yang mensuplai produk-produk frekuensi ke industri elektronik.⁹⁰ Berbasis di Inggris Barat Daya, perusahaan ini mengekspor produk-produknya ke lebih dari 50 negara.⁹¹ Seperti perusahaan-perusahaan lain yang digambarkan di atas, perusahaan ini juga memproduksi berbagai produk komersial siap pakai untuk memenuhi persyaratan untuk beberapa standar militer.⁹² Pada awal bulan Maret tahun 2022, perusahaan ini melaporkan bahwa ia telah menghentikan bisnis di Rusia pada 24 Februari menyusul invasi ke Ukraina.⁹³

Komponen-komponen yang diproduksi oleh Golledge dipulihkan dari sistem-sistem Rusia yang lebih canggih, seperti Torn-MDM dan sistem SAM (peluru kendali darat ke udara) Tor-M2. Yang pertama mengandung salah satu kristal standar perusahaan tersebut HC49, sedangkan yang kedua mengandung unit komputasi digital terspesialisasi termasuk sebuah osilator GXO-U100F. Kedua komponen digunakan untuk menghasilkan sinyal listrik pada frekuensi yang tepat dengan memanfaatkan resonansi mekanis kristal getar yang terbuat dari bahan piezoelektrik.⁹⁴ Ini bersifat kritis untuk digunakan di dalam sistem-sistem seperti Tor-M2 yang menggunakan radar untuk mendeteksi dan melacak target dan untuk memperbaiki efektivitas sistem SIGINT dan sistem Peperangan Elektronik.

88 ECCN 3A991.a.2 – sebuah mikroprosesor atau mikroer dengan laju frekuensi clock melampaui 25 MHz. Lihat Biro Perindustrian dan Keamanan Departemen Perdagangan AS, 'Daftar Perdagangan: KATEGORI 3 – ELEKTRONIK'.

89 Kantor Sekretaris Pertahanan, 'Akuisisi Soviet atas Teknologi Barat yang Signifikan Secara Militer: Sebuah Pembaruan', September 1985, <<https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA160564.pdf>>, diakses pada 21 Juli 2022.

90 Golledge Electronics, 'Tentang Kami', <<https://www.golledge.com/about-us/>>, diakses pada 20 Juli 2022.

91 *Ibid.*

92 Golledge Electronics, 'Komponen Frekuensi Mil-COTS untuk Pertahanan dan Kedirgantaraan', 28 Juni 2016, <<https://www.golledge.com/news/using-mil-cots-for-defence-and-aerospace/>>, diakses pada 20 Juli 2022.

93 Golledge Electronics, 'Golledge Telah Menarik Diri dari Bisnis Kami di Rusia', 11 Maret 2022, <<https://www.golledge.com/news/russian-business-withdrawal-aid-for-ukraine/>>, diakses pada 20 Juli 2022.

94 Sluiceairfair.com, 'Apa Prinsip Osilator Piezoelectric?', 31 Agustus 2020, <<https://www.sluiceairfair.com/2020/popular-lifehacks/what-is-the-principle-of-piezoelectric-oscillator/>>, diakses pada 21 Juli 2022.

STASIUN BERLIN

Sementara jaringan-jaringan spionase Rusia telah beroperasi dari berbagai negara Eropa, Jerman juga sering menjadi jantung skema pengadaan Rusia. Target utama dalam Perang Dingin, Jerman Timur merupakan pusat bagi mata-mata Soviet yang berupaya memperoleh teknologi Barat. Para agen Line X, yang direkrut oleh dinas intelijen Rusia di Jerman Timur, dapat dengan mudah diberangkatkan ke Republik Federal tersebut untuk mengumpulkan informasi dan menembus perusahaan-perusahaan penting Jerman.⁹⁵ Pada tahun 1985, sebuah penilaian mengklaim bahwa Jerman Barat ‘tidak efektif’ dalam mengontrol ekspor ilegal ke Uni Soviet dan hanya akan bertindak di bawah tekanan AS.⁹⁶

Pada tahun yang sama tersebut, pihak berwajib AS mengejar sebuah jaringan pengadaan perangkat mikroelektronik besar dan kompleks Soviet sebagai bagian dari Operasi *Exodus*, sebuah upaya yang dipimpin bea cukai untuk membendung arus teknologi krusial ke Rusia. Dipimpin oleh seorang warga negara Jerman bernama Richard Mueller, jaringan tersebut bertujuan ‘mengalihkan peralatan komputer canggih’ untuk meningkatkan kemampuan produksi semikonduktor kelas militer Uni Soviet.⁹⁷ Di pertengahan 1980-an, bea cukai AS mengidentifikasi Mueller sebagai salah satu

penyelundup senjata paling dicari di dunia.⁹⁸

Namun terdapat agen-agen proliferasi kalangan atas lainnya yang bekerja dari tanah Jerman. Babeck Seroush, orang Iran dengan kantor di Cologne dan Moskow,⁹⁹ didakwa pada tahun 1984 oleh sebuah pengadilan AS atas ekspor 143 semikonduktor untuk penggunaan di dalam sistem panduan (guidance system) rudal serta peralatan penglihatan malam ke Korea Utara.¹⁰⁰ Baru saja dua tahun sebelumnya, Seroush, yang juga diduga telah direkrut oleh KGB,¹⁰¹ terlibat dalam sebuah kasus yang melibatkan pengalihan komponen elektronik ke Uni Soviet.¹⁰²

Pada saat yang sama, Vladimir Putin sendiri beserta Sergey Chemezov – yang kini kepala konglomerat pertahanan terbesar Rusia – keduanya merupakan perwira KGB yang berbasis di Dresden.¹⁰³ Sebuah foto kasar yang diambil pada 1980-an memperlihatkan mereka bersama-sama di Dresden sebagai pemuda.¹⁰⁴ Saat Putin menduduki tampuk kekuasaan, Chemezov mengikuti, dan pada 2007 Putin menempatkan kolega lamanya di pucuk pimpinan Rostec (Perusahaan Negara untuk Bantuan Pengembangan, Produksi dan Ekspor Produk Teknologi Maju ‘Rostec’), dan masih dipegangnya hingga hari ini.¹⁰⁵

95 Kantor Sekretaris Pertahanan, ‘Akuisisi Soviet atas Teknologi Barat yang Signifikan Secara Militer: Sebuah Pembaruan’.

96 Daniel Salisbury, ‘Melawan Terowongan Teknologi Berlin: Operasi Korea Utara, Helikopter dan Intelijan dalam Perdagangan Senjata Ilegal Perang Dingin, 1981-1986’, *Intelligence and National Security* (2022).

97 Ruth Marcus, ‘“Para Pengusaha” Perang’, *Washington Post*, 10 Agustus 1985.

98 *Ibid.*

99 Ellan Cates, ‘Ekspertir Jerman Barat Telah Didakwa atas Konspirasi...’, *UPI*, 5 November 1984, <<https://www.upi.com/Archives/1984/11/05/A-West-German-exporter-has-been-charged-with-conspiracy/3117468478800/>>, diakses pada 20 Juli 2022.

100 *Ibid.*

101 Salisbury, ‘Melawan Terowongan Teknologi Berlin’.

102 *AP News*, ‘Exec Charged with Conspiring to Ship Computer Boards to Soviet Union’, 25 April 1985.

103 *The Economist*, ‘The Making of a Neo-KGB State’, 23 August 2007.

104 Rob Lee (@RALee85), ‘Sergei Chemezov and Vladimir Putin in Dresden in the 1980s and today’, Twitter, 20 Juli 2021, <<https://twitter.com/ralee85/status/1417560713862828035?lang=en>>, diakses pada 20 Juli 2022.

105 Rostec, ‘Sergey Chemezov Melaporkan kepada Presiden Rusia tentang Kinerja 2021 Rostec’, 18 Mei 2022, <<https://rostec.ru/en/news/sergey-chemezov-reports-to-president-of-russia-on-rostec-2021-performance/>>, diakses pada 20 Juli 2022.

Tali Penolong Silikon: Elektronika Barat di Jantung Mesin Perang Rusia

Figure 11: Putin and Chemezov, Kabarnya Diambil pada 2021



Sumber: Kremlin.ru.

Dalam beberapa tahun terakhir, Jerman terus menjadi target baik jaringan spionase S&T maupun jaringan pengadaan yang ingin menguasai teknologi canggih. Pada Mei 2021, seorang warga negara Jerman ditangkap karena mengirimkan barang kegunaan ganda ke sebuah perusahaan yang dioperasikan oleh dinas-dinas intelijen Rusia.¹⁰⁶ Tidak sampai satu bulan kemudian, pihak berwajib Jerman menangkap seorang ilmuwan Rusia karena mencuri rahasia aeronautika dan teknologi rudal dari pusat-pusat penelitian di Augsburg.¹⁰⁷

RUSI menemukan 10 komponen yang diproduksi oleh perusahaan-perusahaan Jerman di dalam tujuh sistem. Yang paling umum adalah filter dan induktor dudukan permukaan yang diproduksi oleh EPCOS AG dan ditemukan di dalam beberapa sub-sistem dari sistem SIGINT Torn-MDM. EPCOS AG awalnya dibentuk pada tahun 1999

dari Siemens Matsushita Components, sebuah perusahaan patungan (joint venture) antara perusahaan Jerman Siemens dan perusahaan Jepang Matsushita.¹⁰⁸ Perusahaan tersebut kemudian dibeli oleh perusahaan Jepang TDK Corporation pada 2009 dan diganti nama menjadi TDK Electronics AG.¹⁰⁹ Katalog produk perusahaan tersebut mencakup kapasitor, komponen keramik, filter EMC, induktor, modul frekuensi radio dan lainnya.¹¹⁰

Sementara itu, baik PUNA Eleron-3SV maupun PUNA KUB-BLA ditemukan menggunakan bilah udara (air blade) yang diproduksi secara berurutan oleh Graupner GmbH dan Aero Naut. Namun demikian, sebuah komponen yang ekspornya dikontrol oleh AS diperbaiki dari satu sistem senjata Rusia. Ini adalah transformator LAN buatan Würth Elektronik GmbH¹¹¹ yang ditemukan di dalam sebuah modul komputasi

106 AP News, 'Jerman Menangkap Pengusaha Atas Ekspor Kegunaan ganda ke Rusia', 18 Mei 2021.

107 Matthias von Hein, 'Ilmuwan Rusia Diadili untuk Spionase di Jerman', *DW*, 17 Februari 2022.

108 Gerhard Fasol, 'TDK Mengakuisisi Pembuat Komponen Elektronik Pasif EPCOS', *Eropa-Jepang*, 31 Juli 2008, <<https://eu-japan.com/2008/07/tdk-epcos/>>, diakses pada 20 Juli 2022.

109 Teknologi Interferensi, 'EPCOS AG Berganti Nama menjadi TDK Electronics AG', 5 Oktober 2018, <<https://interferencetechnology.com/epcos-ag-changes-its-name-to-tdk-electronics-ag%E2%80%AF/>>, diakses pada 20 Juli 2022.

110 TDK Corporation, 'Akuisisi atas EPCOS AG – Menjadi Pemimpin Global dalam Industri Komponen Elektronik', 2009, <<https://www.tdk.com/ir/library/annual/web/lib20405.pdf>>, diakses pada 20 Juli 2022.

111 ECCN 3A991.b.2.a – sebuah penguat daya sirkuit terpadu monolitik gelombang mikro yang digolongkan untuk operasi pada frekuensi melampaui 2.7 GHz dan hingga dan termasuk 6.8 GHz dengan bandwidth fraksional lebih tinggi dari 15%. Lihat Bureau of Industry and Security of the US Department of Commerce, 'Commerce Control List: CATEGORY 3 – ELECTRONICS'

Byrne, Somerville, Byrne, Watling, Reynolds and Baker

khusus pada sistem Peperangan
Elektronik R-330BMV.

Meneropong Rudal Rusia

‘Operasi tempur dalam konflik militer dalam waktu dekat akan menonjolkan pertarungan antara pelbagai teknologi maju, dan yang paling menentukan adalah senjata serangan udara serta sistem pertahanan udara dan rudal’, ujar Yan Novikov, direktur jenderal kontraktor pertahanan milik negara Rusia Almaz-Antey, pada 6 Desember 2021.¹¹²

Pada jam-jam awal invasi, angkatan bersenjata Rusia bermaksud mengacaukan dan menetralkan pertahanan udara dan sistem C4ISR¹¹³ Ukraina, dengan menembakkan salvo rudal jelajah dan balistik pada berbagai fasilitas.¹¹⁴ Kemudian, daftar target diperluas untuk mencakup infrastruktur militer termasuk barak-barak yang menaungi pejuang asing, infrastruktur kereta api untuk mengacaukan jalur suplai Barat, depot bahan bakar, pabrik

senjata, dan bahkan target-target sipil seperti rumah sakit dan pusat perbelanjaan.

Angkatan bersenjata Rusia mempunyai gudang yang luas untuk senjata-senjata ini, dan kabarnya mengeluarkan lebih dari 2.000 rudal memasuki awal Mei.¹¹⁵ Itu mencakup ALCM Kh-101, yang digunakan oleh Angkatan Udara Rusia untuk menyerang target dari tempat aman ruang udara Rusia,¹¹⁶ sementara angkatan darat Rusia telah mengerahkan rudal balistik dan jelajah Iskander 9M720 dan 9M727 yang sering kali ditembakkan dari wilayah Rusia.¹¹⁷

Meskipun banyak dari sistem tersebut yang hancur dalam proses mengenai targetnya, beberapa telah diperbaiki dan kemudian dibongkar, sehingga memberikan wawasan tak tertandingi untuk pembuatannya.

112 Yan Novikov, ‘Direktur Almaz-Antey: Kemampuan Udara dan Antariksa Akan Memutuskan Konflik Hari Esok’, *DefenseNews*, 6 Desember 2021.

113 Komando, Kendali, Komunikasi, Komputer (C4) Intelijen, Pengintaian dan Rekognisi (ISR)

114 Justin Bronk, ‘Kasus Misterius Hilangnya Angkatan Udara Rusia’, *RUSI Commentary*, 28 Februari 2022.

115 Departemen Pertahanan AS, ‘Pejabat Pertahanan Senior Menggelar Pengarahan Latar Belakang’, transkrip, 2 Mei 2022, <<https://www.defense.gov/News/Transcripts/Transcript/Article/3017053/senior-defense-official-holds-a-background-briefing/>>, diakses pada 20 Juli 2022.

116 *NBC News*, ‘2 Dilaporkan Terbunuh pada Serangan Rudal Rusia di Kyiv untuk Pertama Kali dalam Beberapa Minggu’, 26 Juni 2022.

117 *Kyiv Independent*, ‘Staf Umum: Rusia Mengerahkan Peluncur Rudal Iskander ke Belgorod Oblast’, 22 Mei 2022.

Senjata-senjata itu memadukan beragam subsistem dan mengarahkan pada jaringan-jaringan kompleks para produsen yang terlibat dalam produksi suku cadang pembuatannya. Namun meskipun cabang jaringan itu mungkin luas, itu sering kali melacak kembali ke akar yang sama: konglomerat pertahanan utama milik negara Rusia Rostec dan Almaz-Antey (OAO Concern VKO 'Almaz-Antey'), keduanya menjadi target negara-negara Barat karena peran utama mereka dalam menyuplai angkatan bersenjata Rusia.

Didirikan pada tahun 2007, Rostec dikepalai oleh orang kepercayaan Putin Chemezov sejak pendiriannya.¹¹⁸ Sementara itu, Almaz-Antey didirikan melalui dekrit presiden pada 2002 dan dipimpin oleh Yan Novikov. Akan tetapi antara 2014 dan 2016, dewan direktur perusahaan tersebut juga dikepalai oleh Chemezov.¹¹⁹

Bersama-sama, perusahaan-perusahaan yang mengurita ini mengoperasikan begitu banyak lembaga penelitian, biro desain, pabrik produksi serta perusahaan yang memberi masukan ke dalam desain, pengembangan dan produksi rudal serta sistem-sistem militer lain Rusia.

ISKANDER 9M727

9M727 adalah sebuah GLCM jarak menengah Rusia yang terbang pada ketinggian rendah untuk menghindari radar dan mengurangi risiko intersepsi atau pencegatan.¹²⁰ Untuk menavigasi ke targetnya dan melakukan koreksi jurusan di tengah-tengah penerbangan, rudal tersebut memiliki sejumlah sensor dan sistem internal yang dirancang untuk menerjemahkan sinyal eksternal ke dalam input digital.

118 *Reuters*, 'Sekutu Putin Chemezov Mengatakan Rusia Akan Jadi Pemenang', 10 Maret 2022.

119 Almaz-Antey, 'Sejarah', <<http://www.almaz-antey.ru/en/istoriya/>>, diakses pada 21 Juli 2022.

120 Proyek Pertahanan Rudal CSIS, '9M729 (SSC-8)', terakhir diperbarui pada 31 Maret 2022, <<https://missilethreat.csis.org/missile/ssc-8-novator-9m729/>>, diakses pada 21 Juli 2022.

Tali Penolong Silikon: Elektronika Barat di Jantung Mesin Perang Rusia

Figure 12: Foto-foto Rudal Jelajah 9M727



Sumber: RUSI.

Dua sistem pemrosesan sinyal paling penting dari rudal tersebut adalah komputer Zarya dan komputer Baget-62-04, yang berturut-turut memproses data radar dan panduan televisi (TGM). Salah satu sensor terpenting rudal tersebut adalah sebuah sistem yang melekat pada badan rudal yang memproses sinyal GPS dan sinyal GLONASS - SN-99 (CH-99).

Sebuah kajian tentang suku cadang penyusun sistem-sistem tersebut mengungkapkan penggunaan luas komponen produksi Barat di dalam konstruksinya, sementara rantai produksi berbasis Rusianya sering kali akhirnya mengarah kembali ke Rostec dan Almaz-Antey.

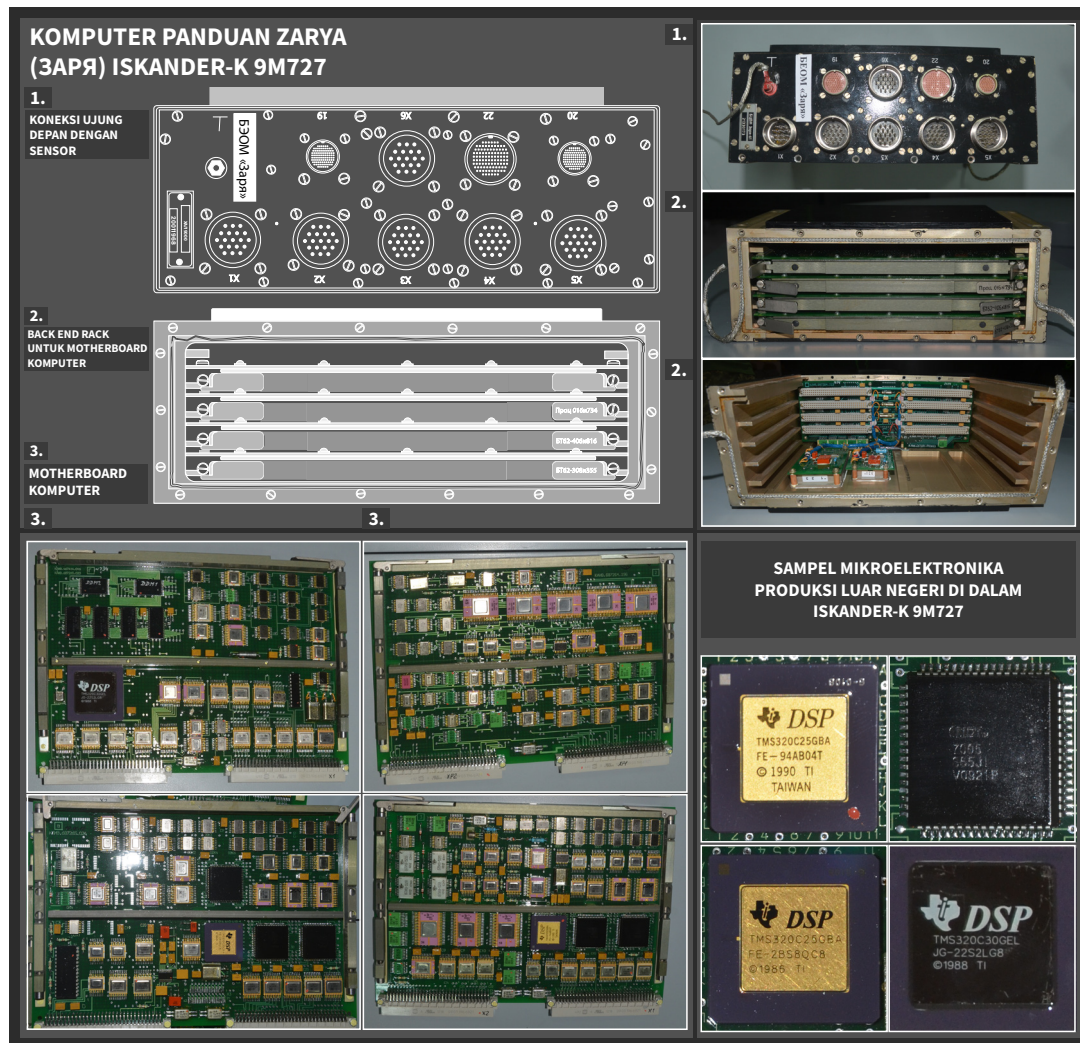
KOMPUTER PEMROSESAN RADAR ZARYA

Komputer Zarya duduk di bagian depan rudal 9M727 dan terpasang di dalam sebuah sasis

yang seluruhnya logam dan diamankan di dalam alat penahan (retainer) pengunci logam. Konstruksi kokoh tersebut dirancang untuk melindungi komputer dari getaran dan kejutan yang dapat mengganggu operasinya saat rudal meluncur dan menavigasi ke targetnya. Sasis logam tersebut juga melindungi komputer dari interferensi elektromagnetik, sama halnya dengan gasket logam bercabang yang menutup komputer saat diinstal di dalam badan 9M727.

Zarya didinginkan secara pasif, berarti bahwa tidak ada kipas atau ventilasi udara yang diperlukan untuk mengatur suhu. Ini memberi komponen elektroniknya ketahanan terhadap kerusakan air dan getaran yang dapat mengganggu operasi jika sistem tersebut mengandalkan mekanisme pendinginan alternatif yang aktif.

Figure 13: Mengurai komponen Komputer Zarya



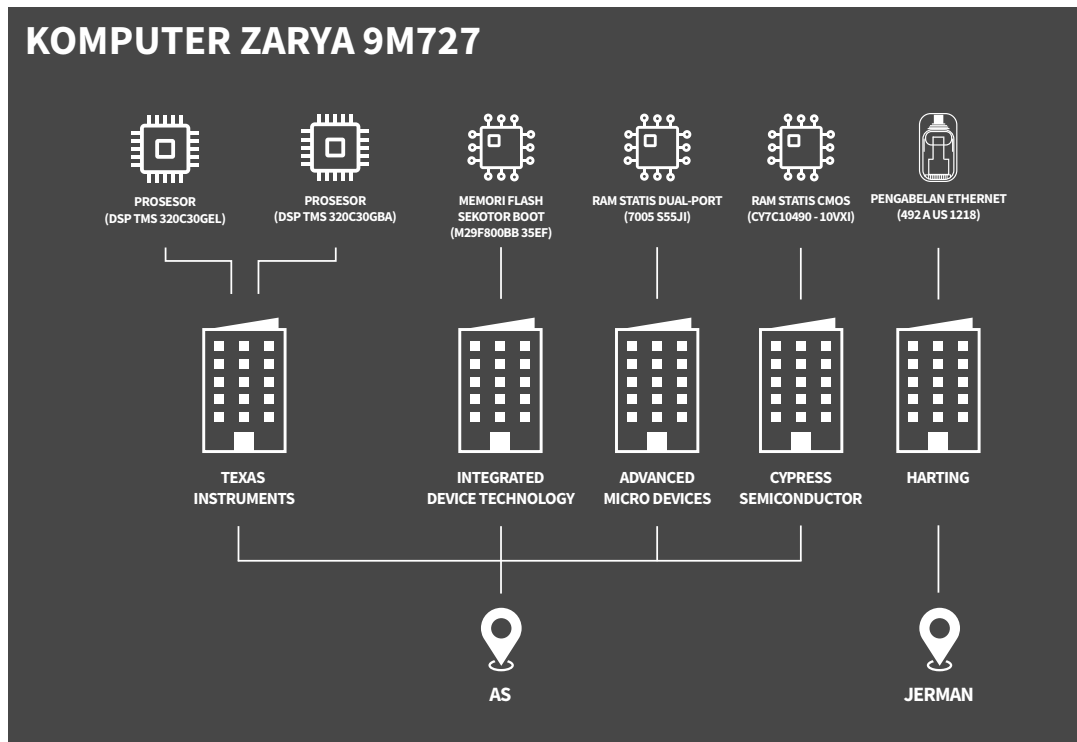
Sumber: RUSI.

Tali Penolong Silikon: Elektronika Barat di Jantung Mesin Perang Rusia

Setidaknya sebagian model komputer Zarya tampak secara historis diproduksi oleh entitas-entitas yang terkait ke produksi sistem militer Rusia dan – akhirnya – ke Almaz-Antey.¹²¹ Namun demikian, komputer Zarya yang

diperbaiki dari 9M727 mengandung beberapa komponen yang bersumber dari Barat, termasuk prosesor sinyal, modul memori flash, modul RAM statis, serta kabel ethernet yang berasal dari perusahaan-perusahaan AS dan Jerman.

Figure 14: Komponen Barat di dalam Komputer Zarya



Sumber: RUSI.

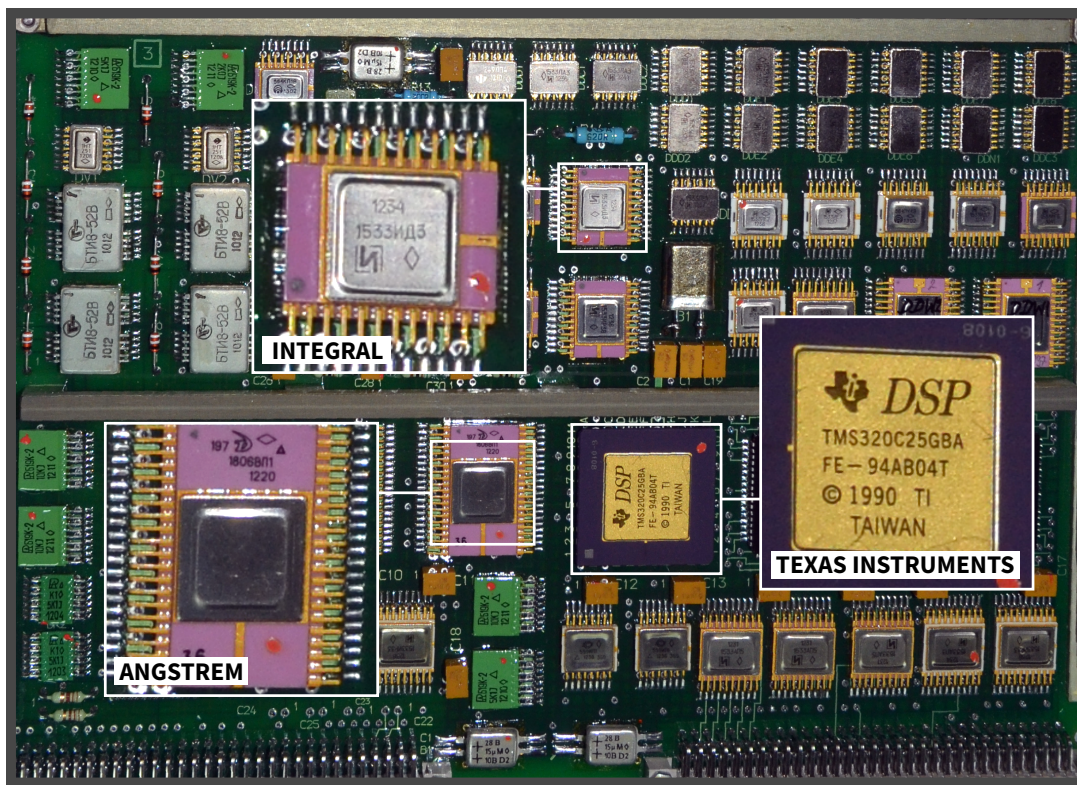
121 Sebuah dokumen yang dikaitkan dengan A.N. Shishkov dari Institut Penerbangan Moskow mencatat bahwa, di awal 1990-an, serangkaian model Zarya diproduksi oleh sebuah 'NII Priborostroeniya' di Moskow. A H Shishkov, 'Lekcija Mikroprocessor' ['Microprocessor Lecture'], Institut Penerbangan Moskow, hal. 38, <http://frela-mk.narod.ru/olderfiles/1/Lekcciya_3_4_Mikroprocessor.pdf>, diakses pada 28 Juli 2022. Ini mungkin merujuk pada V.V. Institut Desain Instrumen Ilmiah Tikhomirov (NIIP) (Nauchno-izsledovatel'skij institut priborostroeniya imeni V.V. Tikhomirova) atau Institut Desain Instrumen Negara (GosNIIP) (Gosudarstvennyj nauchno-izsledovatel'skij institut priborostroeniya). Kedua entitas tersebut telah terlibat dalam produksi teknologi militer. Lihat V.V. Institut Penelitian Desain Instrumen Ilmiah Tikhomirov, 'Ekspornaya produkciya' ['Produksi Ekspor'], <<https://www.niip.ru/catalog/ekspornaya-produkciya>>, diakses pada 26 Juli 2022; *Army Recognition*, 'Rusia Punya Lebih Banyak Rudal Jelajah SSC-8 Dari Perkiraan, dengan Jangkauan Konflikual', 11 Februari 2019, <https://www.armyrecognition.com/february_2019_global_defense_security_army_news_industry/russia_has_more_ssc-8_cruise_missiles_than_expected_with_conflictual_range.html>, diakses pada 28 Juli 2022; Angkatan Nuklir Strategis Rusia, 'Rudal Jelajah dan INF - Bagaimana Dengan 9M729?', 23 Juni 2015, <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:kGNi1MZKOSIJ:https://russianforces.org/blog/2015/06/cruise_missiles_and_inf_-_what.shtml+&cd=2&hl=en&ct=cInk&gl=de>, diakses pada 28 Juli 2022. Pada saat penulisan, NIIP dikendalikan oleh Almaz-Antey dan Rostec. Lihat Oruzhiye Rossii [Persenjataan Rusia], 'Nauchno-izsledovatel'skij institut priborostroeniya imeni V.V. Tikhomirova, AO' ['V.V. Institut Penelitian Desain Instrumen Ilmiah Tikhomirov, Perusahaan Gabungan'], <<https://www.arms-expo.ru/armament/members/625/83161/>>, diakses pada 21 Juli 2022. GosNIIP merupakan bagian dari Almaz-Antey belum lama ini pada tahun 2018 dan masih dengan mencolok menonjolkan logo Almaz-Antey pada situs webnya. Lihat GosNIIP, 'Akcionernoye obschestvo "Gosudarstvennyj nauchno-izsledovatel'skij institut priborostroeniya"' ['Perusahaan Gabungan "Institut Penelitian Desain Instrumen Negara"', <<http://www.gosniip.ru/>>, diakses pada 28 Juli 2022; Vladimir Medvedev, 'Frontovye aviacionnye pribory i ih sozdateli' ['Instrumen Penerbangan Lini Depan dan Para Penciptanya'], *Nacional'naya oborona [Pertahanan Nasional]*, 27 Februari 2018, <<https://2009-2020.oborona.ru/includes/periodics/defense/2018/0227/122323529/print.shtml>>, diakses pada 28 Juli 2022.

Hal yang istimewa adalah pemrosesan inti pada sistem Zarya tampak dijalankan oleh sebuah prosesor sinyal digital Texas Instruments. Prosesor ini digunakan untuk memanipulasi aliran data dengan cara yang berulang-ulang, dan dapat menjalankan penyaringan, manipulasi dan konversi atas data yang dikumpulkan oleh sensor yang terpasang pada rudal.

Chip pemrosesan sinyal digital yang digunakan di dalam Zarya adalah seri TMS320 Texas Instruments, yang mulanya dirilis pada tahun 1983, namun telah mengalami pelbagai revisi

sejak itu. Papan-papan yang diinspeksi oleh RUSI di dalam 9M727 mempunyai baik C25 maupun C30, yang kedua berkemampuan hingga 50 juta operasi per detik – kemungkinan merupakan yang teratas di pasar yang tersedia pada waktu konstruksi. Chip mikro tersebut bertanggal tahun 1988 dan 1990, yang mengindikasikan bahwa sistem tersebut kemungkinan dirancang dan dibuat di akhir tahun 1980-an hingga awal 1990-an. Prosesor sinyal digital tersebut tampaknya juga dipadukan dengan chip memori lain yang berasal dari Barat dan diproduksi oleh Integrated Device Technology atau Cypress Semiconductor.

Figure 15: Angstrom dan Chp Mikro Terpadu pada Papan Sirkuit Zarya



Sumber: RUSI.

Perangkat sirkuit terpadu kemasan logam yang tampak di dalam sistem tersebut utamanya berasal dari Soviet. Ini dapat diketahui berdasarkan logo pada chip buatan dalam negeri yang diproduksi oleh Angstrom dan Integral. Hingga saat jatuhnya Uni Soviet, Angstrom dan Integral, bersama dengan perusahaan berbasis

di Moskow PAO Mikron,¹²² merupakan entitas-entitas utama negara ini yang memproduksi sirkuit terpadu.

Angstrom didirikan pada tahun 1963 di bawah naungan Institut Penelitian Mekanika Halus Ilmiah berbasis di Leningrad dan

122 Sejarah Mikron kembali ke akhir 1950-an dan dapat dilacak ke Pabrik Perangkat Semikonduktor Voronezh (Voronezhskij zavod poluprovodnikovyh priborov), yang kemudian menjadi VZPP-Mikron. Mikron secara historis telah memproduksi komponen untuk penggunaan dalam sistem militer. Lihat Mikron, 'Sejarah Mikron', <<https://en.mikron.ru/company/history/>>, diakses pada 30 Juni 2022.

Tali Penolong Silikon: Elektronika Barat di Jantung Mesin Perang Rusia

mengembangkan chip mikro produksi dalam negeri pertama seri 'Tropa'.¹²³ Perusahaan tersebut telah sejak itu memproduksi lebih dari 2.000 jenis chip mikro dan perangkat semikonduktor untuk penggunaan di dalam sistem pandu rudal, teknologi antariksa dan penerbangan, komputer pribadi dan kalkulator mikro, selain aplikasi-aplikasi lainnya.¹²⁴

Pada tahun 2018, lebih dari 91% dari seluruh penjualan Angstrom adalah produk-produk dengan aplikasi militer; untuk penjualan pada pasar dalam negeri, angka tersebut adalah di atas 96%.¹²⁵ Angstrom merupakan pemegang saham mayoritas di AO Angstrom-T, yang asetnya diblokir oleh Kantor Kontrol Aset Asing (OFAC) pada 22 Februari 2022.¹²⁶

Integral, sementara itu, merupakan produsen sistem terpadu, perangkat semikonduktor diskrit serta sistem tampilan informasi, termasuk – menurut situs web perusahaan tersebut – untuk integrasi ke dalam peralatan terspesialisasi yang yang dikerahkan dalam kondisi ekstrim.¹²⁷ Integral memulai produksi pada 1960-an namun dikenakan sanksi oleh

OFAC pada 24 Februari 2022 terkait dengan invasi Rusia ke Ukraina.¹²⁸

MESIN KOMPUTASI BAGET

Salah satu komputer lain yang ditemukan di dalam Iskander-K 9M727 adalah Baget-62-04 – sebuah sistem pemrosesan panduan televisi yang terutama digunakan pada fase terminal untuk memastikan akurasi yang tepat. Keluarga komputer Baget diuraikan di dalam sebuah artikel baru-baru ini oleh seorang peneliti dari Institut Penelitian Ilmiah untuk Analisis Sistem Akademi Ilmu Pengetahuan Rusia (IPIAIS AIPR) sebagai perangkat berkinerja tinggi untuk pemrosesan sinyal.¹²⁹

Seperti komputer Zarya, komponen elektronik Baget-62-04 terbungkus di dalam sebuah sistem terspesialisasi yang dirancang untuk melindunginya dari faktor beban destruktif tinggi serta interferensi elektromagnetik. Baget-62-04 juga mengandung berbagai komponen buatan Barat termasuk mikroprosesor, FPGA, chip SRAM, osilator kristal, soket penghubung dan berbagai komponen lainnya.

123 Angstrom, 'Katalog produkii' ['Katalog Produk'], 2022, <<https://tinyurl.com/6mcp38rp>>, diakses pada 21 Juli 2022.

124 *Ibid.*

125 Angstrom, 'Godovoj otchet Akcionernogo obschestva 'Angstrom' za 2018 god' ['Laporan Tahunan Perusahaan Gabungan "Angstrom" untuk Tahun 2018'], laporan dikonfirmasi oleh direktur umum dan kepala akuntan perusahaan pada 28 Juni 2019, p. 7. Diakses pada *Interfax*, 'AO 'Angstrom' ['Perusahaan Gabungan 'Angstrom']', Centr Raskrytiya Korporativnoj Informacii [Pusat Penemuan Informasi Perusahaan], <<https://www.e-disclosure.ru/portal/files.aspx?id=3782&type=2&attempt=1>>, diakses pada 1 Juli 2022.

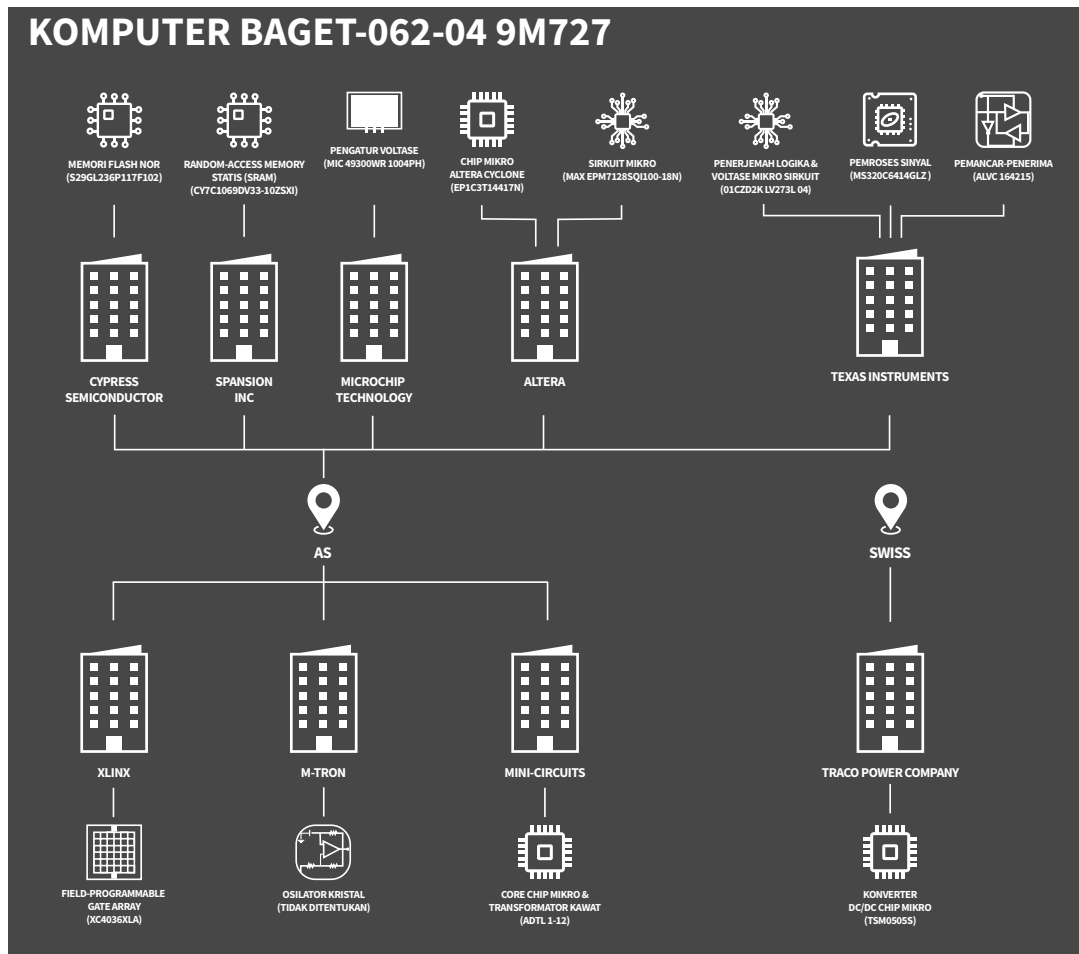
126 Departemen Keuangan AS, 'Departemen Keuangan AS Membebaskan Biaya Ekonomi Langsung sebagai Tanggapan atas Tindakan-Tindakan di Daerah Donetsk dan Luhansk', siaran pers, 22 Februari 2022, <<https://home.treasury.gov/news/press-releases/jy0602>>, diakses pada 21 Juli 2022.

127 Integral, 'Produkciya' ['Products'], <<https://integral.by/ru/products>>, diakses pada 20 Juli 2022.

128 Departemen Keuangan AS, 'Departemen Keuangan AS Membebaskan Biaya Ekonomi Langsung sebagai Tanggapan atas Tindakan-Tindakan di Daerah Donetsk dan Luhansk'.

129 Antonov A A and A A Krasnyuk, 'Struktur Internal Mikroprosesor untuk Kontrol Industri dan Sistem Pemrosesan Data', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (No. 1061, 2021).

Figure 16: Komponen Barat di dalam Baget-62-04



Sumber: RUSI.

Komputer seri Baget dapat ditelusuri silsilahnya ke upaya-upaya pemerintah Rusia – menyusul runtuhnya Uni Soviet – untuk memproduksi komputer dan komponen untuk aplikasi militer di dalam negeri dan mengurangi ketergantungan pada pemasok asing.¹³⁰ Sebuah brosur tahun 2017 oleh sejumlah produsen Rusia menunjukkan bahwa kemungkinan turunan dari Baget 64-02 dimaksudkan untuk penggunaan

sistem kontrol onboard dalam kompleks penerbangan maupun dalam kompleks senjata berbasis darat dan udara berketepatan tinggi.¹³¹

Ditulis bersama oleh Biro Desain AO ‘Korund-M’ (KB Korund-M) dan IPIAIS AIPR Rusia, brosur tersebut mengiklankan berbagai komputer Baget dan chip mikro buatan dalam negeri yang didesain untuk aplikasi militer.

130 AO Konstruktorskoje buro (KB) Korund-M (Perusahaan Gabungan Biro Desain (BD) Korund-M) dan Federal’noje gosudarstvennoje uchrezhdeniye Federal’nyj nauchnyj centr nauchno-izsledovatel’skij institute sistemnyh izsledovanij rossijskoj akademii nauk [Institusi Negara Federal ‘Institut Penelitian Ilmiah untuk Analisis Sistem Akademi Ilmu Pengetahuan Rusia (INF IPIAIS AIPR)], ‘Perspektivnyje EVM semejstva Baget’ [‘Komputer Prospektif Keluarga Baget’], 2017, hal.. 2–3.

131 *Ibid.*

Tali Penolong Silikon: Elektronik Barat di Jantung Mesin Perang Rusia

Figure 17: Sistem Komputer Baget Modern yang Diiklankan oleh KB Korund-M dan IPIAIS AIPR



ЭВМ «Багет-67» (изделие 3Б67)
Базовая встраиваемая малогабаритная управляющая ЭВМ

Предназначена для применения в качестве встраиваемой ЭВМ в бортовых системах управления перспективных авиационных комплексов, комплексов высокоточного оружия наземного и авиационного базирования.

ЭВМ "Baget-67" (продукт 3Б67)

Состав ЭВМ:

- универсальный двухпроцессорный модуль на основе микропроцессора 1890VM8A – до 3 шт;
- мезонинный модуль электронного диска, энергонезависимая память с интерфейсом SATA – 1 шт;
- модульный источник питания;
- объединительная плата;
- корпус – 1 шт.

Технические характеристики:

- тактовая производительность – до 12 ГГц;
- объем оперативной динамической памяти – не менее 4 Гбайт;
- объем энергонезависимой памяти – не менее 4 Гбайт;
- потребляемая мощность – не более 170 Вт;
- условия эксплуатации по ГОСТ РВ 20.39.304-98: гр. – 13, 14, 1, 17, 18, 1, 21, 2, 31, 31, 31, 32, 3, 33, 33, 3, 46-49);
- рабочая температура среды – от –60 до +55 °С;
- предельная температура среды – от –65 до +85 °С;
- габаритные размеры: 429x124x203 мм;
- полный средний срок службы –

ЭВМ "Baget-57" (продукт 3Б57)

ЭВМ «Багет-57» (изделие 3Б57)
Базовый бортовой вычислительный комплекс

Sumber: Brosur Korund-M dan IPIAIS AIPR.

KB Korund-M, yang sepertinya merupakan sebuah biro desain IPIAIS AIPR,¹³² mencatat pada situs webnya bahwa produk-produknya telah dikerahkan dalam sistem militer Rusia, termasuk kompleks rudal Iskander, dan bahwa ia terus memproduksi komputer dengan aplikasi militer dan menjalankan litbang terkait dengan kebutuhan komputasi Kementerian Pertahanan Rusia.¹³³ IPIAIS AIPR dikenakan sanksi oleh OFAC pada 2 Agustus 2022.¹³⁴ KB Korund-M tidak

dikenakan sanksi oleh pemerintah-pemerintah Barat.¹³⁵

Baget-62-04 juga disebutkan di dalam laporan-laporan tahunan Pabrik Serpukhov Metallist AO, yang mengklaim bahwa perusahaan tersebut memproduksi 222 komputer Baget-62-04 untuk rudal Iskander-M pada tahun 2013, dengan rencana untuk memproduksi 269 komputer Baget-62-03 di tahun berikutnya.¹³⁶

132 Salah satu pendiri perusahaan tersebut Vladimir Betelin, yang juga merupakan direktur ilmiah pada IPIAIS AIPR. Lihat Instansi Pemerintah Federal Institut Penelitian Ilmiah untuk Analisis Sistem Akademi Ilmu Pengetahuan Rusia, 'Betelin Vladimir Borisovich', <<https://www.niisi.ru/betelin.htm>>, diakses pada 25 Juli 2022. Dalam dokumen-dokumen pajak federal Rusia bertanggal 24 Juli 2020, Betelin terdaftar sebagai direktur umum dan pemegang saham utama AO KB Korund-M. Dokumen-dokumen pajak federal Rusia bertanggal 4 Desember 2021 juga mendaftar Betelin sebagai direktur Biro Desain Organisasi Non-Komersial Korund-M, sementara IPIAIS AIPR terdaftar sebagai pemegang saham perusahaan tersebut. Dokumen-dokumen pajak federal Rusia bertanggal 16 Juni 2022 masih mendaftar Betelin sebagai direktur perusahaan, namun tidak menyebutkan IPIAIS AIPR. Dokumen-dokumen Registri Pajak Federal Rusia dapat diakses melalui Sayari Labs, <<https://sayari.com/>>, diakses pada 22 Juli 2022.

133 Konstruktorskoye B'uro Korund-M [Biro Desain Korund-M], 'O "Korund-M"' ['Tentang "Korund-M"'], <<https://kbkorund.ru/about>>, diakses pada 26 Juli 2022.

134 Departemen Luar Negeri AS, 'Membebankan Biaya Tambahan atas Rusia untuk Perang Berkelanjutannya Terhadap Ukraina', lembar fakta, 2 Agustus 2022, <<https://www.state.gov/imposing-additional-costs-on-russia-for-its-continued-war-against-ukraine/>>, diakses pada 2 Agustus 2022.

135 Tampaknya sejumlah model Baget – yaitu, komputer BAget-53 – telah juga diproduksi oleh Biro Desain Pembuatan Instrumen Ramenskoye [Ramenskoye 'Priborostroitel'noye konstruktorskoye b'uro']. Lihat Perusahaan Gabungan Terbuka 'Biro Desain Pembuatan Instrumen Ramenskoye' (PGT 'BDPIR'), 'Katalog produkii elektronnoy napravleniya "OAO Ramenskoye Priborostroitel'noye Konstruktorskoye B'uro"' ['Katalog Produk Elektronik Perusahaan Gabungan Terbuka "Biro Desain Pembuatan Instrumen Ramenskoye"'], 2013, hal. 14, <https://mniirip.ru/sites/default/files/articles/katalog_elektronnogo_napravleniya_rpkb.pdf>, diakses pada 20 Juli 2022.

136 'Godovoj otchet Otkrytogo akcionnogo obschestva "Serpukhovskij zavod "Metallist" za 2013 god' ['Laporan Tahunan Perusahaan Gabungan Terbuka "Pabrik Serpukhov 'Metallist'" for the Year 2013'], 2014, p. 16. Diakses pada *Interfax*, 'AO Serpukhovskij Zavod "Metallist"' ['Perusahaan Gabungan "Pabrik Serpukhov 'Metallist"'], Centr Raskrytiya Korporativnoj Informacii [Pusat Penemuan Informasi Perusahaan], <<https://www.e-disclosure.ru/portal/files.aspx?id=23097&type=2>>, diakses pada 1 Juli 2022.

Laporan-laporan tahunan pabrik terus menunjukkan keterlibatan di dalam produksi komputer Baget hingga laporan tahun 2020, yang dipublikasikan pada tahun 2021.¹³⁷ Laporan tahunan 2021, dirilis pada Juni 2022, sama sekali tidak merujuk kepada komputer Baget.¹³⁸

Didirikan pada bulan November tahun 1943 oleh komite pertahanan federal Uni Soviet, Serpukhov Metallist Plant merupakan sebuah fasilitas luas yang secara historis terlibat dalam produksi teknologi militer Soviet dan Rusia,¹³⁹ dan kabarnya terus memproduksi komponen militer penting hingga baru-baru ini.¹⁴⁰ Pada bulan Desember 2021, pabrik tersebut dimiliki oleh JSC NPO High Precision Systems (AO 'NPO Vysokotochnye Kompleksy') Rostec.¹⁴¹

NPO High Precision Systems merupakan perusahaan induk milik negara yang dikenakan sanksi oleh Departemen Keuangan AS pada

bulan Maret tahun 2022. Menurut Departemen Keuangan AS, sebagian dari sistem rudal yang diproduksi oleh NPO High Precision Systems – termasuk Iskander – dibawa ke perbatasan Rusia-Ukraina sebelum invasi Februari 2022.¹⁴²

SISTEM PANDUAN

Selama hampir dua dekade, doktrin militer Rusia bergantung pada penggunaan rudal jelajah jarak jauh dan jarak menengah untuk menyerang infrastruktur militer penting jauh di dalam wilayah musuh. Untuk memastikan senjata-senjata ini mengenai target, angkatan bersenjata Rusia telah mengembangkan sensor inersia dan navigasi maju untuk mengarahkan rudal seraya melakukan manuver pada ketinggian rendah untuk menghindari pertahanan udara. Salah satu sensor utam yang ditemukan baik pada 9M727 maupun rudal jelajah yang diluncurkan dari udara adalah unit pandu GLONASS dan GPS SN-99 (CH-99).

137 Lihat, sebagai contoh, 'Godovoj otchet Otkrytogo akcionnernogo obschestva "Serpukhovskij zavod 'Metallist' za 2020 god'" ['Laporan Tahunan Perusahaan Gabungan Terbuka "Pabrik Serpukhov 'Metallist' untuk Tahun 2020"], 2021, hal. 16, 31. Diakses pada *Interfax*, 'AO Serpukhovskij Zavod "Metallist"' ['Perusahaan Gabungan "Pabrik Serpukhov 'Metallist'"], Centr Raskrytiya Korporativnoj Informacii [Pusat Penemuan Informasi Perusahaan], <<https://www.e-disclosure.ru/portal/files.aspx?id=23097&type=2>>, diakses pada 1 Juli 2022.

138 'Godovoj otchet Otkrytogo akcionnernogo obschestva "Serpukhovskij zavod 'Metallist' za 2021 god'" ['Laporan Tahunan Perusahaan Gabungan Terbuka "Serpukhov Plant 'Metallist'" untuk Tahun 2021'], 2022. Diakses pada *Interfax*, 'AO Serpukhovskij Zavod "Metallist"' ['JSC "Serpukhov Plant 'Metallist'"], Centr Raskrytiya Korporativnoj Informacii [Pusat Penemuan Informasi Perusahaan], <<https://www.e-disclosure.ru/portal/files.aspx?id=23097&type=2>>, diakses pada 28 Juli 2022.

139 Oleg Falichev, "'Metallist': pricel'noe razvitie' ["'Metallist': Pengembangan yang Ditargetkan'], *Voyenno-promyshlennij kur'jer* [*Military-Industrial Courier*], 6 November 2018, <<https://vpk-news.ru/articles/46107>>, diakses pada 21 Juli 2022.

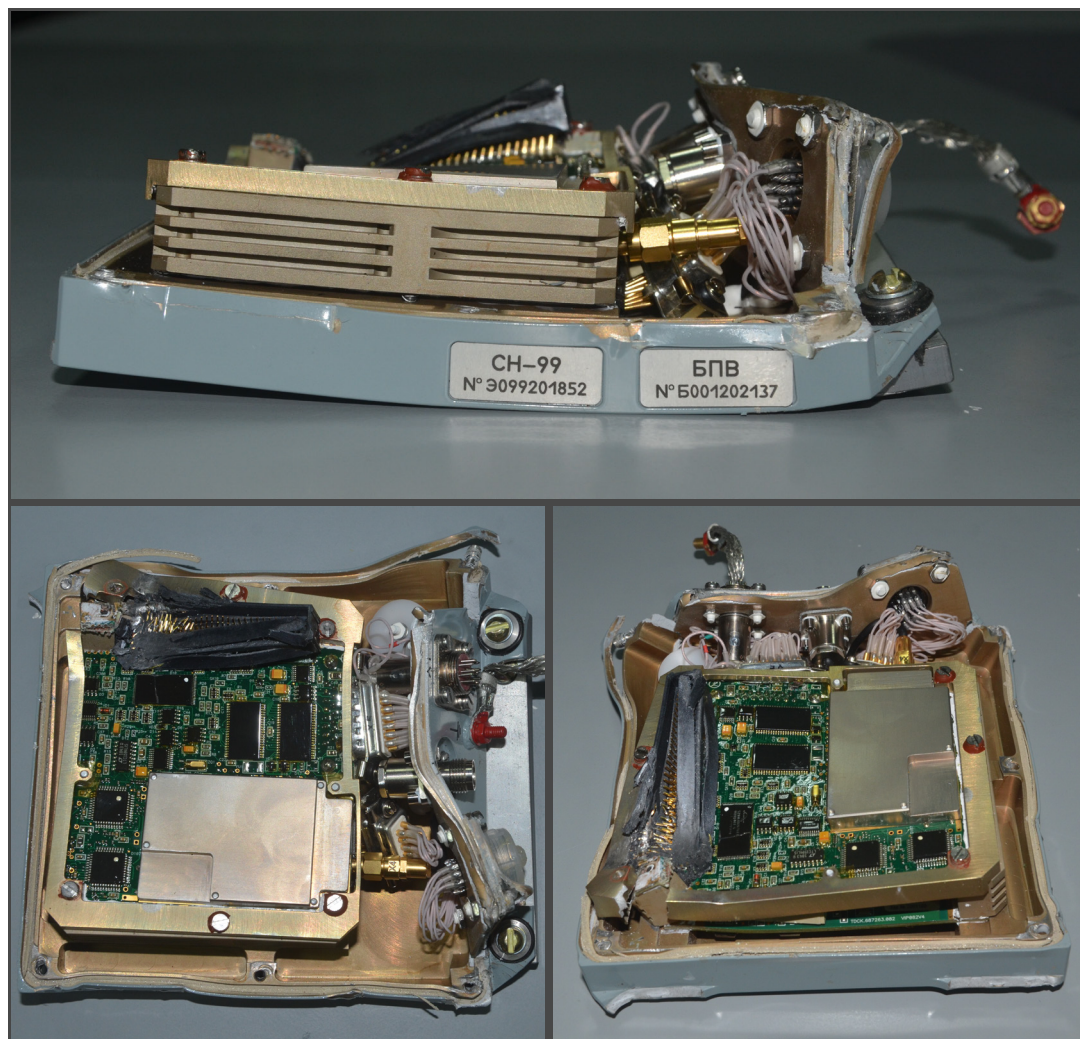
140 *Serpukhovskie Vesti*, 'Serpukhovskomu zavodu Metallist ispolnyaetsya 75 let' ['The Serpukhov "Metallist" Plant Turns 75'], 13 August 2018, <<http://inserpuhov.ru/novosti/proizvodstvo/serpuhovskomu-zavodu-metallist-ispolnyaetsya-75-let>>, diakses pada 20 Juli 2022.

141 Serpukhov Plant Metallist, 'Glavnaya' ['Main'], versi arsip situs web yang ditangkap pada 26 Desember 2021, <<https://web.archive.org/web/20211226064918/http://www.szmetallist.ru/>>, diakses pada 21 Juli 2022.

142 Departemen Keuangan AS, 'Departemen Keuangan AS Mengenal Sanksi pada Basis Pertahanan-Industri Rusia, Duma Rusia beserta Anggotanya, dan Direktur Utama Sberbank', siaran pers, 24 Maret 2022, <<https://home.treasury.gov/news/press-releases/jy0677>>, diakses pada 21 Juli 2022.

Tali Penolong Silikon: Elektronika Barat di Jantung Mesin Perang Rusia

Figure 18: Foto-foto Sistem Pandu GLONASS dan GPS SN-99 (CH-99)



Sumber: RUSI.

Unit ini diproduksi oleh Biro Desain Sistem Navigasi (AO KB NAVIS),¹⁴³ sebuah produsen sistem navigasi GLONASS, GPS dan GALILEO yang digunakan oleh militer Rusia.¹⁴⁴ Catatan¹⁴⁵ dan majalah berkala korporat berbahasa Rusia mengklaim bahwa KB Korund-M, biro desain IPIAIS AIPR tersebut di atas, mendirikan KB NAVIS.¹⁴⁶ Seperti KB Korund-M, KB NAVIS tidak pernah dikenakan sanksi oleh pemerintah Barat kendati menyediakan teknologi krusial bagi program rudal negara tersebut.

Secara khusus, sistem SN-99 (CH-99) mengandung beberapa komponen buatan Barat seperti chip memori flash 32-megabit yang dibuat oleh Spansion serta konverter A/D 12-bit yang diproduksi oleh Linear Technology Corporation. Sementara konverter A/D dalam kisaran 12-bit tidak lagi dianggap sebagai istimewa menurut standar modern, ia tetap merupakan komponen kritis untuk rudal jelajah taktis dan rudal balistik dan kemungkinan

dianggap jajaran atas saat sistem SN-99 ini dirakit.

BEBERAPA PRODUK

Namun demikian, KB NAVIS tampak memproduksi beberapa peralatan untuk militer Rusia. Salah satunya adalah sistem navigasi dan pemosisian genggam yang digunakan oleh Pasukan Operasi Khusus Rusia (SOF) bernama Breeze-KM-I.¹⁴⁷ Perangkat-perangkat jenis ini umumnya digunakan oleh SOF dan personel pengintaian ke depan untuk secara akurat menentukan posisi mereka sendiri serta memperkirakan koordinat artileri presisi dan serangan udara pada lokasi musuh.

Ketika dibongkar, Breeze-KM-I mengandung sejumlah perangkat mikroelektronik buatan Barat termasuk mikroprosesor 64-bit kinerja tinggi, chip SRAM, pemancar-penerima dan amplifier.

143 Konstruktorskoye B'uro Navigacionnyh Sistem Navis [Biro Desain Sistem Navigasi Navis], 'SN-99 Navigacionnaya apparatura dlya vysokodinamichnyh ob'ektov GLONASS/GPS/SBAS' ['SN-99 – Peralatan Navigasi untuk Obyek Dinamika Tinggi GLONASS/GPS/SBAS'], <https://navis.ru/assets/files/SN-99---korrekt_NEW.pdf>, diakses pada 21 Juli 2022.

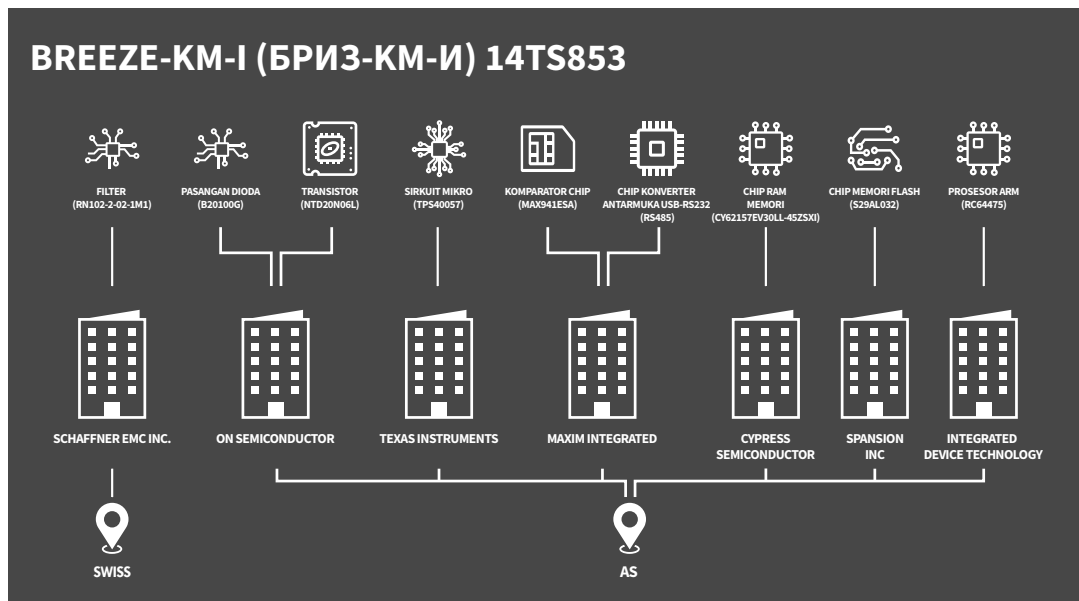
144 'Nekommercheskaya organizaciya Associaciya razrabotchikov, proizvoditelei i potrebitelei oborudovaniya i prilozhenij na osnove global'nyh navigacionnyh sputnikovyh sistem GLONASS/GNSS-Forum' ['Organisa Non-Komersial Asosiasi Pengembang, Produsen dan Pelanggan Peralatan dan Aplikasi dengan Basis Sistem Navigasi Satelit Global "GLONASS/GNSS-Forum"'], 'Analiticheskij otchet po itogam izsledovaniya sostoiyaniya i perspektiv razvitiya rynka navigacionnyh, svyazanyh i navigacionno-sviazannyh modulej, a takzhe ocenki vliyaniya na razvitie rossijskogo i mezhdunarodnogo rynka "Avtonet"' ['Laporan Analitis atas Temuan Kajian Negara dan Perspektif Pengembangan Pasar untuk Navigasi, Jaringan dan Modul Navigasi-Jaringan, Serta Penilaian Dampak Perkembangan Pasar "Autonet" Rusia dan Internasional'], 2019, <<https://tinyurl.com/yckfrxwx>>, p. 189, diakses pada 15 Juli 2022.

145 Lihat Russian Federal Tax Register, dokumen bertanggal 9 Juli 2020 yang diambil dari Sayari Labs, <<https://sayari.com/>>, diakses pada 10 Juli 2022.

146 A A Shanin et al., 'Apparatura Sputnikovyh Navigacionnyh Sistem GLONASS i GPS Konstruktorskogo B'uro Navigacionnyh Sistem' ['Peralatan untuk Sistem Navigasi Satelit GLONASS dan GPS Biro Desain Sistem Navigasi'], Navigasi dan Hidrografi, Institut Navigasi-Hidrografi Penelitian Negara, Kementerian Pertahanan Federasi Rusia, Desember 2001, p. 173.

147 NAVIS, 'Breeze-KM-I Individual'naya navigacionnaya apparatura GLONASS/GPS/SBAS' ['Peralatan Navigasi Individu GLONASS/GPS/SBAS Breeze-KM-I'], <<https://navis.ru>>, diakses pada 23 Juni 2022.

Figure 19: Komponen-komponen di dalam Breeze-KM-I



Sumber: RUSI.

Salah satu dari komponen ini adalah chip RAM statis CMOS kinerja tinggi (CY62157EV30LL-45ZSX1) yang awalnya diproduksi oleh perusahaan berbasis di Amerika Cypress Semiconductor. Komponen tersebut merupakan chip memori¹⁴⁸ kecepatan tinggi dan daya ultra rendah yang terklasifikasi sebagai barang kegunaan ganda untuk tujuan ekspor.¹⁴⁹ Catatan perdagangan dan deklarasi impor Rusia memperlihatkan bahwa, antara tahun 2017 dan tahun 2021, KB NAVIS mengimpor jumlah-jumlah besar perangkat elektronik, sirkuit terpadu dan komponen elektronik lainnya buatan perusahaan-perusahaan AS seperti

Analog Devices, Texas Instruments dan Linear Technology.¹⁵⁰ Akan tetapi, meskipun sebagian besar pengirimannya merupakan barang buatan AS, sebagian sangat besar dikirim melalui Swiss, Israel, Cina dan Malaysia.¹⁵¹

Pada khususnya, 90% darinya dipindah ke KB NAVIS oleh perusahaan berbasis di Swiss NVS Technologies AG; keduanya bagian dari grup perusahaan NAVIS.¹⁵²

Direktur Utama NVS Technologies – seorang warga negara Rusia bernama Vasily Engelsberg¹⁵³ – juga salah satu pendiri KB

148 Infineon Technologies, 'RAM Statis CY62157EV30 MoBL 8-Mbit (512K × 16)', lembar data, 28 Februari 2020, <[https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-CY62157EV30_MoBL_8-Mbit_\(512_K_16\)_Static_RAM-DataSheet-v20_00-EN.pdf?fileId=8ac78c8c7d0d8da4017d0ebe669131ef](https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-CY62157EV30_MoBL_8-Mbit_(512_K_16)_Static_RAM-DataSheet-v20_00-EN.pdf?fileId=8ac78c8c7d0d8da4017d0ebe669131ef)>, diakses pada 21 Juli 2022.

149 ECCN 3A991.b.2.a – static random-access memory (SRAM) dengan kapasitas penyimpanan melampaui 1 Mbit per paket. Lihat Biro Perindustrian dan Keamanan Departemen Perdagangan AS, 'Daftar Kontrol Perdagangan: KATEGORI 3 - ELEKTRONIK'.

150 Data perdagangan yang disuplai oleh penyedia komersial pihak ketiga.

151 *Ibid.*

152 'Nekommercheskaya organizaciya Associaciya razrabotchikov, proizvoditelei i potrebitelei oborudovaniya i prilozhenij na osnove global'nyh navigacionnyh sputnikovyyh sistem GLONASS/GNSS-Forum' ' ['Organisa Non-Komersial Asosiasi Pengembang, Produsen dan Pelanggan Peralatan dan Aplikasi dengan Basis Sistem Navigasi Satelit Global "GLONASS/GNSS-Forum"], 'Analiticheskij otchet po itogam izsledovaniya sostoianiya i perspektiv razvitiya rynka navigacionnyh, svyazanyh i navigacionno-sviazannyh modulej, a takzhe ocenki vliyanniya na razvitie rossijskogo i mezhdunarodnogo rynka "Avtonet" ' ['Laporan Analitis atas Temuan Kajian Negara dan Perspektif Pengembangan Pasar untuk Navigasi, Jaringan dan Modul Navigasi-Jaringan, Serta Penilaian Dampak Perkembangan Pasar "Autonet" Rusia dan Internasional'], hal. 187, 160.

153 LinkedIn, 'Vasily Engelsberg', <<https://ch.linkedin.com/in/vasily-engelsberg-3b637b16>>, diakses pada 21 Juli 2022.

NAVIS¹⁵⁴ dan grup perusahaan NAVIS yang lebih luas.¹⁵⁵ Terutama, rekan pendiri KB NAVIS Valery Babakov¹⁵⁶ juga pernah menjabat sebagai kepala perancang peralatan navigasi di Almaz-Antey.¹⁵⁷ Dalam sebuah karya tahun 2008 tentang komersialisasi GLONASS yang ditulis bersama Engelsberg, Babakov mencatat bahwa NAVIS Group merupakan pemasok utama receiver GLONASS di Rusia. Ia juga menjelaskan bahwa NVS Technologies didirikan 'sebagai bagian dari proses integrasi teknologi-teknologi kami ke pasar GNSS di seluruh dunia'.¹⁵⁸

Meski KB Navis tampaknya memproduksi beragam komponen untuk berbagai aplikasi sipil, sebuah laporan industri berbahasa Rusia tahun 2019 mengklaim bahwa lebih dari 70% dari kontrak institut tersebut adalah dengan Kementerian Pertahanan Rusia.¹⁵⁹ Pada saat itu, angka tersebut ternyata berjumlah hingga di atas 3,5 milyar rouble, atau 55 juta dolar AS pada waktu itu. Oleh karena itu, tampak mungkin bahwa banyak komponen bersumber dari Barat yang diimpor oleh KB NAVIS menemukan jalan

ke sistem senjata Rusia yang dinilai untuk laporan ini.

RUDAL JELAJAH KH-101

ALCM Kh-101 telah dikeluarkan dalam jumlah signifikan di Ukraina. Rudal tersebut telah digunakan untuk menyerang beragam target, termasuk infrastruktur kereta api¹⁶⁰ dan pusat-pusat kota.¹⁶¹ Perlu dicatat bahwa rancangannya telah diperdebatkan sejak 1980-an dan kesiapannya untuk dipakai diperlambat oleh kurangnya dana negara, yang menggeser pengembangannya ke masa 2000-an.¹⁶²

Diperkenalkan untuk dipakai pada tahun 2012, rudal tersebut dikembangkan sebagai rudal jelajah standoff jangkauan jauh dengan jangkauan hingga 2.800 km untuk membawa hulu ledak konvensional – seperti peledak, fragmentasi, submunisi – atau bahkan hulu ledak nuklir sebesar 250-kt. Diluncurkan dari pesawat terbang, rudal tersebut tidak memerlukan booster untuk memperoleh kecepatan awalnya dan kabarnya dapat

154 Polina Jeremenko, 'Soshel s orbity' ['Left Orbit'], *Moskovskiy Novosti* [Moscow News], 7 April 2011, <<https://www.mn.ru/politics/68113>>, diakses pada 3 Juli 2022.

155 *PravoRU*, 'Sobstvenniku postavshchika Minoborony otkazali v iske na sovladel'ca' ['Klaim Pemilik Pemasok Kementerian Pertahanan Terhadap Pemilik Bersamanya Telah Ditolak'], 10 November 2017, <<https://pravo.ru/news/view/145748/>>, diakses pada 3 Juli 2022.

156 *Ibid.*

157 *Novosti navigacii*, 'Forum Navigasi Satelit Internasional ke-5', (No. 2, 2011), hal. 51, <https://internavigation.ru/wp-content/uploads/2019/07/nn2011_02.pdf#page=51>, diakses pada 12 Juli 2022.

158 Vasilij Engelsberg, Ivan Petrovski dan Valery Babakov, 'Nasihat Ahli: Prospek Bisnis GLONASS', *GPS World*, 1 Maret 2008, <<https://www.gpsworld.com/gnss-systemglonassexpert-advice-glonass-business-prospects-4215/>>, diakses pada 21 Juli 2022.

159 Menurut dokumen ini, KB NAVIS telah menyepakati 106 kontrak dengan pemerintah federal Rusia, bernilai 5,1 milyar rouble. Duapuluh dari kontrak tersebut – berjumlah hingga 3,6 milyar rouble atau 72,6% dari bisnis perusahaan tersebut – adalah dengan Kementerian Pertahanan Rusia. Lihat 'Nekommercheskaya organizaciya Associaciya razrabotchikov, proizvodeitelei i potrebitelei oborudovaniya i prilozhenij na osnove global'nyh navigacionnyh sputnikovyh sistem GLONASS/GNSS-Forum' ['Organisa Non-Komersial Asosiasi Pengembang, Produsen dan Pelanggan Peralatan dan Aplikasi dengan Basis Sistem Navigasi Satelit Global "GLONASS/GNSS-Forum"]', 'Analiticheskij otchet po itogam izsledovaniya sostoianiya i perspektiv razvitiya rynka navigacionnyh, svyazanyh i navigacionno-sviazannyh modulej, a takzhe ocenki vliyaniya na razvitie rossijskogo i mezhdunarodnogo rynka "Avtonet"' ['Laporan Analitis atas Temuan Kajian Negara dan Perspektif Pengembangan Pasar untuk Navigasi, Jaringan dan Modul Navigasi-Jaringan, Serta Penilaian Dampak Perkembangan Pasar "Autonet" Rusia dan Internasional'], hal. 189.

160 Kementerian Pertahanan (@DefenceHQ), '(2/6) Pada jam-jam awal tanggal 5 Juni, rudal jelajah yang diluncurkan di udara (ALCM) Rusia Kh-101 menghantam infrastruktur kereta api di Kyiv, kemungkinan berusaha mengganggu suplai peralatan militer Barat ke unit-unit lini depan Ukraina', Twitter, 6 Juni 2022, <<https://twitter.com/DefenceHQ/status/1533682058463268864>>, diakses pada 21 Juli 2022.

161 *NBC News*, '2 Dilaporkan Terbunuh pada Serangan Rudal Rusia di Kyiv Untuk Pertama Kali dalam Beberapa Minggu'.

162 Robin Hewson, 'Muncul Keterangan tentang Rudal Jelajah Terbaru Rusia', *Jane's Defence Weekly*, Oktober 2007, <https://web.archive.org/web/20080225163154/http://www.janes.com/news/defence/systems/jdw/jdw071022_1_n.shtml>, diakses pada 21 Juli 2022.

Tali Penolong Silikon: Elektronika Barat di Jantung Mesin Perang Rusia

menjelajah pada ketinggian 6.000 meter pada Mach 0,58.¹⁶³ Selain itu, rudal tersebut dapat meluncur ke target pada ketinggian 30-60 meter pada kecepatan maksimum Mach 0,78.¹⁶⁴

Rudal tersebut menggunakan berbagai sistem dan sensor untuk navigasi di tengah jalan (midcourse), termasuk data satelit inersia, GLONASS dan GPS.¹⁶⁵ Sinyal-sinyal yang

terakhir itu diterima dan diproses oleh unit SN-99 (CH-99) yang sama yang terpasang pada rudal jelajah 9M727. Sistem koreksi elektro-optiknya menggunakan peta medan tersimpan untuk menjalankan pembaruan-pembaruan perbandingan medan.¹⁶⁶ Pada fase terminalnya, Kh-101 memanfaatkan pencari inframerah pencitraan TV.¹⁶⁷

163 Proyek Pertahanan Rudal CSIS, 'Kh-101 / Kh-102', 31 Juli 2021, <<https://missilethreat.csis.org/missile/kh-101-kh-102/>>, diakses pada 21 Juli 2022.

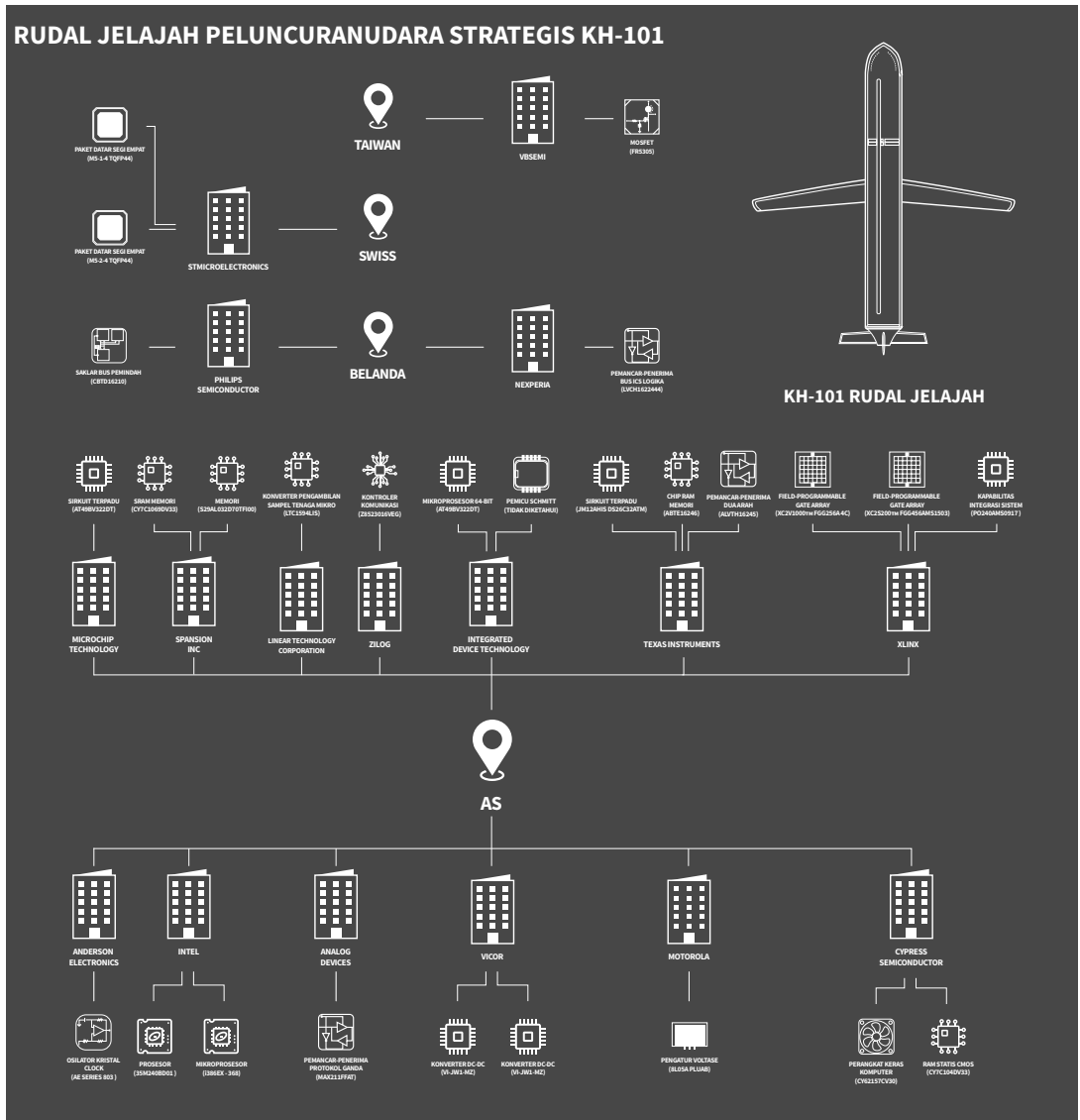
164 *Ibid.*

165 *Ibid.*

166 *Ibid.*

167 *Ibid.*

Figure 20: Komponen Barat dalam Kh-101



Sumber: RUSI.

Sebuah Kh-101 utuh yang diperbaiki mengungkap bahwa rudal tersebut memiliki sekurangnya enam sub-sistem – seperti sistem-sistem navigasi satelit dan sebuah unit receiver, sebuah modul prosesor dan sebuah unit komputasi. Semua sistem tersebut mengandung jumlah ekstensif perangkat mikroelektronik produksi Barat. Sebagai contoh, modul prosesor BT33-202 mengandung sekurangnya selusin komponen mikroelektronik – termasuk modul-modul SRAM CMOS, FPGA, RS-232 serta

pemancar-penerima bis – yang diproduksi oleh berbagai perusahaan yang berbasis di AS dan Belanda. Terutama, itu juga mencakup receiver garis diferensial segi empat CMOS buatan Texas Instruments, yang berkemampuan transmisi data digital seimbang maupun tidak seimbang sekaligus menjaga karakteristik daya rendah. Texas Instruments menyatakan bahwa komponen ini diproduksi menurut spesifikasi Mil-Std-883C AS, namun produk tersebut terklasifikasi sebagai EAR99.¹⁶⁸

168 Texas Instruments, 'DS26C32ATM/NOPB - Receiver Garis Diferensial Segi Empat CMOS', <<https://www.ti.com/product/DS26C32AT/part-details/DS26C32ATM/NOPB>>, diakses pada 21 Juli 2022.

Sirkuit Terbuka: Arus Komponen ke Rusia

Kendati sanksi-sanksi serta kontrol ekspor bertahun-tahun yang semakin ketat yang dirancang untuk mengurangi akses militer Rusia ke komponen kritis, catatan perdagangan tingkat pengiriman serta deklarasi impor Rusia yang dilaporkan antara tahun 2017 dan tahun 2021 memberikan sebuah wawasan mendalam bagaimana komponen-komponen ini pindah ke negara tersebut.¹⁶⁹

Menggunakan catatan tersebut serta alat bernama Atlas Altana, tim penelitian menyaring milyaran catatan perdagangan selaras untuk impor Rusia atas semikonduktor dan input terkait semikonduktor yang bisa saja menemukan jalan ke platform-platform senjata Rusia yang dikerahkan ke Ukraina.¹⁷⁰

Kumpulan data ini kemudian diperiksa untuk mencari entitas-entitas yang mungkin telah

bertindak sebagai saluran masuknya komponen-komponen ke kompleks militer-industri Rusia, sebuah proses yang mengidentifikasi lusinan importir militer serta perusahaan-perusahaan lain yang terkait dekat dengan industri pertahanan negara tersebut.

RANTAI PASOK GLOBAL: IMPOR SEMIKONDUKTOR RUSIA

Rusia merupakan importir besar semikonduktor dan perangkat mikroelektronik yang digunakan dalam sistem komersial, industri dan militer. Untuk memahami aliran tersebut secara lebih baik, tim peneliti mencari semua contoh dari 2017–22 yang dalam hal ini perusahaan-perusahaan Rusia mengimpor barang berkode HS yang sesuai dengan perangkat mikroelektronik dan barang terkait dengan perangkat mikroelektronik.¹⁷¹

¹⁶⁹ Data perdagangan yang diberikan oleh Atlas Perdagangan Altana (<https://altana.ai/atlas/>) dan penyedia data komersial pihak ketiga.

¹⁷⁰ Atlas Perdagangan Altana, <<https://altana.ai/atlas/>>.

¹⁷¹ Kode HS, atau Kode Harmonised System, merupakan kode standar untuk menunjukkan kategori barang dalam perdagangan internasional. Kode HS merepresentasikan kategori barang, bukan produk spesifik. Sampai digit keenam, ia berstandar internasional – dan sesudah itu ia dimodifikasi oleh masing-masing negara untuk keperluan pencatatan mereka sendiri. Untuk contoh kami, kami memasukkan kode HS ‘854239’ (sirkuit terpadu elektronik; suku cadangnya), ‘854129’ (chip, dice dan wafer lepas), ‘854110’ (dioda, selain dari dioda fotosensitif atau dioda pemancar cahaya), ‘854231’ (prosesor dan kontroler, baik tergabung atau tidak dengan memori, konverter, logika, sirkuit, amplifier, sirkuit clock dan timing, atau sirkuit lainnya) dan ‘381800’ (unsur kimia yang didoping untuk penggunaan di perangkat elektronik, dalam bentuk cakram, wafer atau bentuk serupa).

Permintaan data ini menghasilkan hampir satu juta impor terkait dengan semikonduktor ke Rusia selama masa waktu tersebut.¹⁷² Secara keseluruhan, 5.597 perusahaan yang berbeda muncul sebagai importir. Di antara perusahaan-perusahaan tersebut, terdapat ragam yang signifikan – dari produsen proses barang multi-input besar hingga produsen komponen elektronik terspesialisasi, dan dari afiliasi lokal multinasional barat yang hanya melaksanakan perdagangan intra-perusahaan hingga perusahaan yang mengkhususkan diri dalam berurusan dengan kompleks militer–

industri Rusia. Alatnya Atlas mengembalikan transaksi-transaksi dalam semuanya dari semikonduktor yang diperuntukkan komputer desktop sederhana hingga komponen sangat terspesialisasi jenis yang tepat ditemukan di medan perang Ukraina.¹⁷³

Tidak mengherankan, importir-importir teratas berdasarkan jumlah transaksi keseluruhan cenderung merupakan importir grosiran yang men-sourcing beraneka ragam komponen elektronik dari seluruh dunia.

Figure 21: Importir Teratas Rusia

PENGIMPOR	JUMLAH TRANSAKSI TERKAIT SEMIKONDUKTOR
OOO BELIV	100,313 JERMAN – 8,544 MALAYSIA – 7,403 CINA – 7,213 FILIPINA – 4,037 AS – 3,880
KOMPONENT	34,252 AS – 12,884 MALAYSIA – 3,088 CINA – 2,732 HONG KONG SAR – 1,943 THAILAND – 1,850
BALTELEKTRON	32,377 AS – 9,025 INGGRIS RAYA – 5,357 HONG KONG SAR – 3,931 CINA – 2,635 MALAYSIA – 2,449
WEST-OST	29,115 JERMAN – 6,018 HONG KONG SAR – 4,830 CINA – 4,763 MALAYSIA – 2,085 TAIWAN – 1,389
SPETSVOLTAZH	28,843 CINA – 6,576 FINLANDIA – 5,637 AS – 3,449 MALAYSIA – 2,654 TAIWAN – 2,241

Sumber: Atlas Altana; RUSI.

172 Atlas Perdagangan Altana.

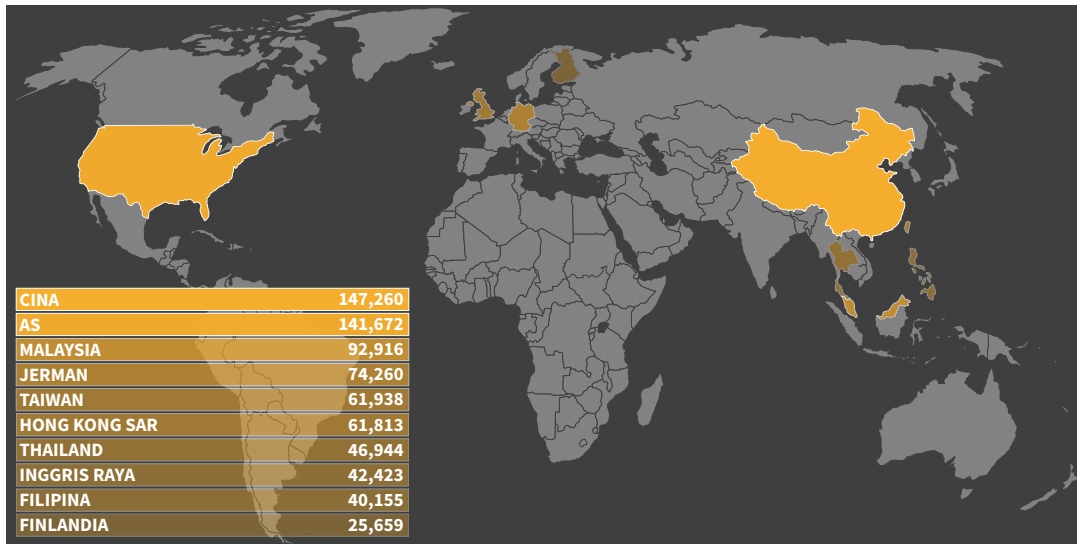
173 Ibid.

Tali Penolong Silikon: Elektronika Barat di Jantung Mesin Perang Rusia

Barang elektronik bersumber dari beragam luas negara dan yurisdiksi. Meskipun yurisdiksi-yurisdiksi ekspor semikonduktor terkemuka seperti Cina, AS, Jerman, Taiwan, Hong Kong dan Inggris Raya merupakan 10 pemasok teratas, volume transaksi yang signifikan datang

dari negara-negara, semacam Malaysia dan Thailand, tempat sejumlah besar produsen semikonduktor multinasional mempunyai pabrik dan fasilitas produksi yang di sini sirkuit terpadu terakut diuji sebelum dikirim ke pelanggan dan distributor.¹⁷⁴

Figure 22: 10 Eksportir Semikonduktor dan Perangkat mikroelektronik Teratas ke Rusia



Sumber: Atlas Altana; RUSI.

Namun demikian, investigasi lebih dekat mengindikasikan bahwa sebagian dari transaksi-transaksi tersebut, terutama dari negara-negara tanpa industri semikonduktor dan elektronik yang kokoh tersebut, sering kali tidak merepresentasikan pengiriman-pengiriman dari produsen. Secara umum terdapat dua penjelasan untuk jenis-jenis transaksi tersebut: pengiriman pengembalian; dan pindah muatan.

Pengiriman pengembalian sering kali dapat dikenali dengan memeriksa sifat dari rekanan yang terlibat dalam transaksi tersebut. Sebagai contoh, Atlas Altana menunjukkan beberapa

transaksi dalam barang terkait dengan semikonduktor dari Aljazair ke Rusia selama periode yang dikaji. Data transaksi terinci memperlihatkan bahwa pengiriman-pengiriman tersebut, bagaimanapun juga, adalah untuk dioda bukan pemancar cahaya serta sirkuit terpadu dari Kementerian Pertahanan Aljazair ke 'PAO Kompaniya Sukhoi' dan 'PAO Kompaniya Irkut' – dua kontraktor pertahanan Rusia terkenal.¹⁷⁵

Mengingat militer Aljazair mengoperasikan sistem-sistem pertahanan yang diproduksi oleh dua korporasi tersebut,¹⁷⁶ sangatlah besar kemungkinan bahwa, bukannya transaksi-

174 *Ibid.*

175 Sukhoi adalah sebuah merek militer terkenal dan baru-baru ini bergabung dengan United Aircraft Corporation yang dikenakan sanksi oleh Inggris Raya pada 24 Februari 2022. Lihat Kantor Luar Negeri, Persemakmuran dan Pembangunan, 'Menteri Luar Negeri Menjatuhkan Sanksi-Sanksi Inggris Raya Paling Menghukum untuk Menimbulkan Rasa Sakit Maksimal dan Bertahan Lama pada Rusia', siaran pers, 24 Februari 2022, <<https://www.gov.uk/government/news/foreign-secretary-imposes-uks-most-punishing-sanctions-to-inflict-maximum-and-lasting-pain-on-russia>>, accessed 21 July 2022. Banyaknya anak perusahaan dan perusahaan afiliasi dari Kompaniya Irkut tercantum dalam daftar penyebutan Departemen Keuangan AS. Lihat Departemen Keuangan AS, 'Daftar Terkait Rusia dan Pembaruan Daftar; Penerbitan Lisensi Umum Terkait Rusia dan Pertanyaan yang Sering Diajukan (FAQ) Terkait', siaran pers, 28 Juni 2022, <<https://home.treasury.gov/policy-issues/financial-sanctions/recent-actions/20220628>>, diakses pada 21 Juli 2022.

176 *Times Aerospace*, 'Aljazair Mendapat Pesawat Tempur 14 SU-57 dari Rusia', <<https://www.timesaerospace.aero/news/defence/algeria-to-get-14-su-57-fighters-from-russia>>, diakses pada 10 Juli 2022.

transaksi perangkat mikroelektronik jadi yang diproduksi oleh Kementerian Pertahanan Aljazair, transaksi-transaksi tersebut justru merepresentasikan pengiriman pengembalian atas komponen yang rusak, kelebihan atau tidak diperlukan. Dinamika serupa diamati untuk perusahaan-perusahaan lain yang berbasis di negara-negara dengan industri produksi perangkat elektronik yang kurang kokoh, namun yang tetap telah melakukan pengiriman-pengiriman ke Rusia.

Pindah muatan melalui negara pihak ketiga merupakan kasus yang lebih penting, namun sulit. Distributor dan grosir perangkat mikroelektronik pihak ketiga sering kali beroperasi dari yurisdiksi perantara seperti Hong Kong, yang berarti bahwa komponen yang menuju Rusia terkadang secara sah disuplai melalui entitas-entitas perdagangan yang berdomisili di luar Rusia sendiri. Namun demikian, negara-negara pihak ketiga juga sering kali dieksploitasi oleh agen-agen pengadaan yang ingin memindahkan barang sensitif dan terkontrol dengan menutupi eksportir atau pengguna akhir yang sesungguhnya.¹⁷⁷ Jaringan-jaringan pengadaan klandestin Rusia dan mereka yang bertindak atas nama mereka membasiskan operasi mereka di yurisdiksi-yurisdiksi dengan industri perdagangan perangkat mikroelektronik besar dan kontrol laxer. Baru-baru ini pada 28 Juni 2022, misalnya, OFAC mengenakan sanksi pada tiga individu dan sebuah perusahaan Hong Kong bernama EMC Sud Limited yang diduga merupakan bagian dari sebuah jaringan pengadaan terselubung yang terkait dengan FSB. Salah satu individu tersebut, mantan

agen FSB Alexander Kokorev, diduga secara terselubung melakukan pengadaan komponen elektronik dari AS, Jepang dan Eropa untuk menguntungkan basis industri pertahanan Rusia.¹⁷⁸

Mendeteksi pola-pola pindah muatan merupakan suatu tantangan, sebagian besar karena itu membutuhkan visibilitas multi tier barang yang berpindah dari negara asal, melalui negara transit, dan akhirnya ke negara tujuan. Walaupun sulit dilihat, alat-alat semacam Atlas Altana dapat memberikan secercah visibilitas pada rantai nilai multi tahap untuk melihat potensi kasus pindah muatan.

Sebagai contoh, SP Semiconductors Private Limited, produsen semikonduktor berbasis di New Delhi, India, mengirimkan sirkuit terpadu bermerek Infineon ke King-Pai Technology (HK) Co Ltd (金派科技(香港)有限公司) pada 9 Juni 2021. Kemudian pada bulan yang sama, King-Pai mengirimkan beberapa transaksi dengan deskripsi-deksripsi barang yang serupa ke perusahaan-perusahaan Rusia yang aktif di ruang militer-industri, termasuk Trade-Component¹⁷⁹ dan Radiant Electronic Components, keduanya pertama kali dikenakan sanksi oleh Departemen Keuangan AS pada tahun 2021,¹⁸⁰ dan Radioavtomatika, pertama kali dikenakan sanksi pada tahun 2022.¹⁸¹ Semua perusahaan mempunyai sejarah terdokumentasi menyediakan perangkat mikroelektronik bagi militer Rusia.¹⁸² King-Pai Technology dimasukkan ke dalam Daftar Entitas BIS pada akhir bulan Juni 2022 karena memberikan dukungan bagi industri militer dan pertahanan Rusia.¹⁸³ Catatan perusahaan Hong Kong untuk perusahaan

177 Daniel Salisbury, 'Menjelajahi Penggunaan "Negara Pihak Ketiga" dalam jaringan Proliferasi: Kasus Malaysia', *European Journal of International Security* (Vol. 4, No. 1, February 2019).

178 Departemen Keuangan AS, 'Departemen Keuangan AS Mengenal Sanksi pada Hampir 100 Target dalam Mesin Perang Putin, Melarang Impor Emas Rusia', siaran pers, 28 Juni 2022, <<https://home.treasury.gov/news/press-releases/jy0838>>, diakses pada 22 July 2022.

179 Atlas Perdagangan Altana, <<https://altana.ai/atlas/>>.

180 Biro Perindustrian dan Keamanan Departemen Perdagangan AS, 'Tambahkan Entitas-Entitas Tertentu pada Daftar Entitas; Revisi atas Entri yang Ada pada Daftar Entitas; Penghapusan Entitas Dari Daftar Belum Terverifikasi; serta Tambahan Entitas pada Daftar Pengguna Akhir Militer (MEU)', 12 Juli 2021, <<https://www.federalregister.gov/documents/2021/07/12/2021-14656/addition-of-certain-entities-to-the-entity-list-revision-of-existing-entry-on-the-entity-list>>, diakses pada 22 Juli 2022.

181 Departemen Keuangan AS, 'Daftar Terkait Rusia; Penerbitan Lisensi Umum Terkait Rusia', siaran pers, 3 Maret 2022, <<https://home.treasury.gov/policy-issues/financial-sanctions/recent-actions/20220303>>, diakses pada 22 Juli 2022.

182 Alexandra Alper, 'AS Menuduh Lima Firma di Cina Mendukung Militer Rusia', *Reuters*, 29 Juni 2022.

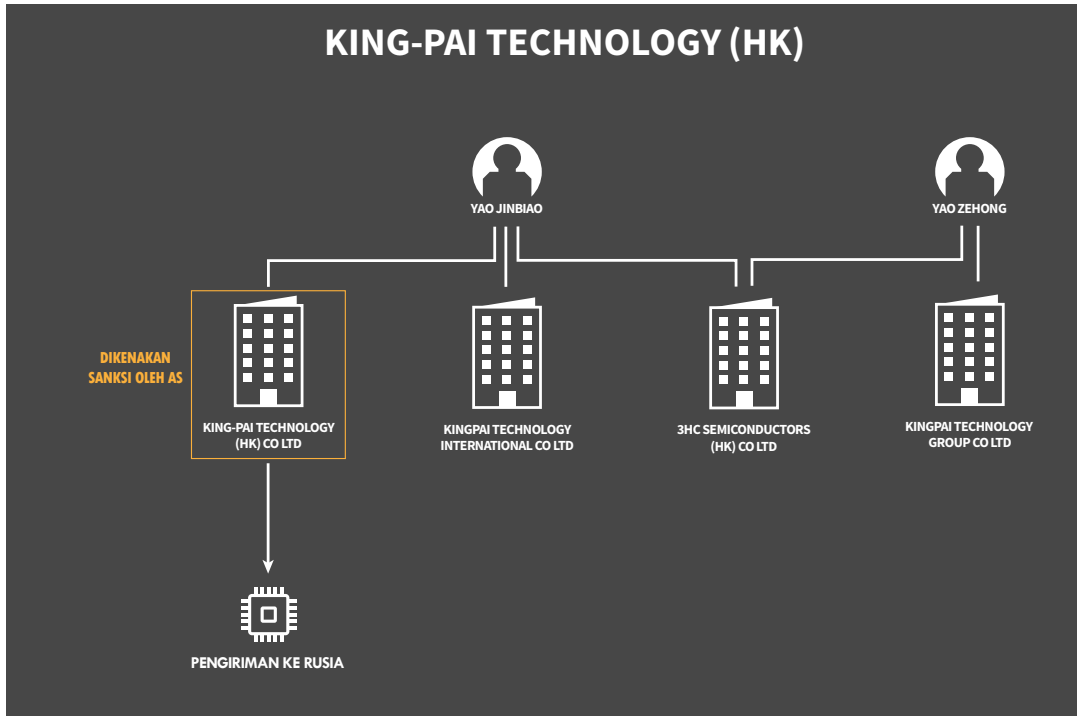
183 Biro Perindustrian dan Keamanan Departemen Perdagangan AS, 'Suplemen No. 4 pada Bagian 744 - DAFTAR ENTITAS',

Tali Penolong Silikon: Elektronik Barat di Jantung Mesin Perang Rusia

tersebut menyebut seorang warga negara Cina bernama Yao Jinbiao (姚金标) sebagai direktur tunggal dan pemegang saham. Versi arsip situs web perusahaan tersebut menyatakan bahwa perusahaan tersebut beroperasi di kantor-kantor luar negeri di Moskow, Rusia, dan Kota Ho Chi Minh, Vietnam.¹⁸⁴ Yao Jinbiao juga tampaknya

mengoperasikan sebuah perusahaan Hong Kong lain menggunakan nama 'Kingpai', satu secara langsung – Kingpai Technology International Co Ltd (金派科技國際有限公司) – sementara yang bernama mirip Kingpai Technology Group Co Ltd (金派科技集團有限公司) dioperasikan oleh individu bernama keluarga Yao.¹⁸⁵

Figure 23: Perusahaan-Perusahaan Jaringan King-Pai



Sumber: Biro Perindustrian dan Keamanan AS; Registri Perusahaan Hong Kong; Qichacha; Atlas Perdagangan Altana; RUSI.

Sebuah pencarian direktur untuk Yao Jinbiao mengungkapkan bahwa ia mengoperasikan sebuah jaringan perusahaan yang terlibat dalam penjualan perangkat mikroelektronik, yang berpusat pada sebuah perusahaan berbasis di Shenzhen bernama 3HC Semiconductors Co Ltd (深圳市三合成科技有限公司).¹⁸⁶ Menurut Atlas Altana, riwayat ekspor 3HC secara garis besar sama persis dengan riwayat ekspor King-Pai, dengan catatan perdagangan yang memperlihatkan beberapa transaksi dalam perangkat mikroelektronik dan barang terkait

ke entitas-entitas yang dikenakan sanksi seperti Radioavtomatika dan Trade-Component.¹⁸⁷

MENYASAR TARGET DI MEDAN PERANG

Juga dimungkinkan untuk melihat lebih dekat pengiriman barang dan komponen yang sama persis yang ditemukan di medan perang di dalam sistem senjata Rusia.

Tim penelitian menggunakan Atlas Altana untuk mencari semua transaksi yang cocok dengan sampel nomor seri 204 semikonduktor spesifik

28 Juni 2022, <<https://www.bis.doc.gov/index.php/documents/regulations-docs/2326-supplement-no-4-to-part-744-entity-list-4/file>>, diakses pada 22 Juli 2022.

184 King-Pai Technology (HK), 'Hubungi Kami', <<https://www.king-pai.com/contact.asp>>, diakses pada 22 Juli 2022.

185 Registri Perusahaan Hong Kong, tersedia pada <www.icris.cr.gov.hk>.

186 Qichacha [企查查], '3hc Semiconductors Co.,limited' ['深圳市三合成科技有限公司'], <<https://www.qcc.com/firm/535b9127d06edbbba894ca64b6ae41b6.html>>, diakses pada 22 Juli 2022.

187 Atlas Perdagangan Altana, <<https://altana.ai/atlas/>>.

yang diambil secara langsung dari sistem-sistem senjata Rusia yang dibongkar. Secara keseluruhan, ini menghasilkan 2.744 pengiriman yang cocok ke 286 penerima unik di Rusia.¹⁸⁸

Banyak semikonduktor mempunyai aplikasi ganda, yang berarti bahwa bahkan satu pengiriman yang menonjolkan jenis semikonduktor yang sama persis yang ditemukan di dalam sistem senjata Rusia bisa jadi ditujukan untuk penggunaan sipil. Beberapa dari pengiriman tersebut mungkin menunjukkan penggunaan semikonduktor jenis tersebut secara damai yang, kebetulan saja, juga digunakan dalam senjata Rusia. Memang, Atlas Altana menunjukkan beberapa contoh perdagangan intra-perusahaan oleh perusahaan-perusahaan Barat yang mengirimkan semikonduktor ke anak perusahaan Rusia mereka. Dalam kasus-kasus tersebut, kemungkinan pengalihan yang disengaja ke militer bersifat kecil.¹⁸⁹

Akan tetapi, importir-importir lain menimbulkan risiko yang lebih besar. Sebagai contoh, ZAO Radiotekhhkomplekt (RTKT), perusahaan dengan riwayat panjang mensuplai militer, muncul di dalam basis data sebagai penerima semikonduktor jenis-jenis yang sama persis dan ditemukan di dalam senjata Rusia, termasuk yang diproduksi oleh firma-firma seperti TE Connectivity, Microchip Technology, anak perusahaan Analog Devices bernama Linear Technology dan banyak lainnya.¹⁹⁰ Didirikan pada tahun 1997, perusahaan tersebut memasok berbagai perusahaan, lembaga penelitian dan biro desain Rusia

dengan komponen elektronik.¹⁹¹ Sementara itu, versi arsip situs web RTKT mencatat bahwa perusahaan tersebut telah bersertifikasi sejak tahun 2000 untuk penyediaan jenis-jenis tertentu komponen elektronik ke militer,¹⁹² dan mengklaim bahwa produsen helikopter Rusia yang ditunjuk AS¹⁹³ Kumertau Aviation Production Enterprise (AKA AO KUMAPP) merupakan salah satu pelanggannya setidaknya hingga tahun 2020.¹⁹⁴ Laman tersebut juga mengidentifikasi berbagai perusahaan teknologi Barat bagi siapa RTKT bertindak sebagai pemasok, termasuk Texas Instruments, Cypress Semiconductor, Golledge dan lainnya,¹⁹⁵ yang suku cadangnya kerap ditemukan di dalam sistem senjata Rusia.

Sementara itu, beberapa perusahaan lain yang juga tampak sebagai penerima komponen yang sama persis yang diperbaiki di medan perang di Ukraina telah menjadi target berbagai sanksi Barat, termasuk Rosoboronexport dan Uralvagonzavod.¹⁹⁶

MENELUSURI ENTITAS TERKENA SANKSI

Selain berfokus pada contoh-contoh semikonduktor yang terbukti berakhir di medan perang, kita dapat menelusuri tautan suplai ke entitas-entitas yang telah secara publik dikenakan sanksi oleh AS dan sekutunya untuk keterlibatannya di dalam transfer teknologi atas nama militer Rusia. Banyak dari sanksi-sanksi tersebut telah diaplikasikan baru-baru ini, yang berarti bahwa transaksi-transaksi historis yang ditunjukkan dalam Atlas Altana bisa jadi tidak bersifat ilegal pada saat terjadinya. Namun demikian, bahkan jika suatu transaksi bersifat

188 *Ibid.*

189 *Ibid.*

190 *Ibid.*

191 Radiotekhhkomplekt, 'Beranda', <<http://web.archive.org/web/20161219070553/https://www.rkt.ru/eng/>>, diakses pada 22 Juli 2022.

192 Departemen Keuangan AS, 'Departemen Keuangan AS Mengenal Sanksi Pada Basis Pertahanan-Industri Rusia, Duma Rusia beserta Anggotanya, serta Direktur Utama Sberbank', siaran pers, 24 Maret 2022, <<https://home.treasury.gov/news/press-releases/jy0677>>, diakses pada 22 Juli 2022.

193 Radiotekhhkomplekt, 'Tentang'.

194 *Ibid.*

195 Radiotekhhkomplekt, 'Produsen', <<https://www.rkt.ru/eng/manufacturers/>>, diakses pada 22 Juli 2022.

196 Departemen Keuangan AS, 'Pembaruan Daftar dan Identifikasi Terkait Ukraina/Rusia; Daftar Syria; Daftar Aksi Gembong; Penerbitan Lisensi Umum Terkait Ukraina/Rusia 12 dan 13; Publikasi FAQ Baru serta FAQ Terbaru', siaran pers, 6 April 2018, <<https://home.treasury.gov/policy-issues/financial-sanctions/recent-actions/20180406>>, diakses pada 22 Juli 2022.

Tali Penolong Silikon: Elektronika Barat di Jantung Mesin Perang Rusia

sah saat pelaksanaannya, kegiatan perdagangan perusahaan-perusahaan tersebut dapat menyediakan wawasan ke dalam sifat jaringan pengadaan mereka.

Kembali ke sampel awal 5.597 perusahaan yang mengimpor perangkat mikroelektronik ke Rusia, tim penelitian menemukan catatan untuk lebih dari 40 perusahaan baik yang muncul secara langsung pada sanksi atau daftar kontrol ekspor AS dan internasional, maupun yang 50% dimiliki oleh perusahaan-perusahaan yang muncul (dan yang oleh sebab itu terkena sanksi melalui operasi hukum).¹⁹⁷

Di dalam sampel tersebut, pihak-pihak yang ditolak yang menerima impor terkait semikonduktor termasuk perusahaan-perusahaan yang terkena sanksi tepatnya untuk pengadaan komponen elektronik bagi militer Rusia, termasuk Npo Elektronnye Sistemy, Radioavtomatika, Publichnoe Aktsionerhoe Obschestvo Oplot banyak lainnya. Menurut Atlas Altana, transaksi ke pihak yang ditolak baik secara langsung maupun menurut hukum terus berlangsung hingga September 2021 baru-baru ini – yang dapat mengindikasikan potensi pelanggaran sanksi atau kegagalan uji tuntas oleh para rekanan.¹⁹⁸

Dengan memeriksa riwayat impor suatu perusahaan secara lebih rinci, kita dapat mulai memahami bagaimana suatu entitas kemungkinan telah bertindak sebagai saluran agar barang-barang tersebut memasuki sistem militer Rusia. Sebagai contoh, Atlas

Altana mengungkap lebih dari 2.500 transaksi perdagangan individu antara PAO Mikron dan 148 pengirim berbeda-beda dari 33 negara dan yurisdiksi, termasuk ke AS, Inggris Raya, Jerman, Belanda dan Taiwan. Sebagaimana dicatat sebelumnya, Mikron merupakan salah satu produsen kunci sirkuit terpadu di Uni Soviet dan masih memasarkan diri sebagai produsen dan eksportir terkemuka As perangkat mikroelektronik di Rusia.¹⁹⁹ Pada tahun 2016, perusahaan tersebut dilaporkan dikontrak untuk memproduksi komponen elektronik untuk kendaraan peluncuran ruang angkasa Rusia.²⁰⁰ Mikron telah dikenakan sanksi oleh Departemen Keuangan AS berkaitan dengan invasi Rusia ke Ukraina.²⁰¹

Hampir seluruh dari 2.500 transaksi yang dirujuk tersebut adalah untuk peralatan atau komponen produksi terkait semikonduktor. Ini termasuk transaksi antara Mikron dan sebuah firma Irlandia untuk suku cadang laser yang terdapat pada sistem laser litografi Tiwscan Xt:1060k produksi ASML, yang dirancang untuk produksi sirkuit terpadu.²⁰² Sebuah transaksi lain yang berasal dari sebuah perusahaan di Inggris Raya menunjukkan ‘Silikon, didoping, dibersihkan, kristal tunggal, dalam bentuk plat, dipoles, untuk penggunaan dalam perangkat mikroelektronik’.²⁰³ Meskipun transaksi-transaksi tersebut bisa jadi atau tidak melanggar sanksi-sanksi yang ada pada waktu dilakukannya, namun itu tetap memunculkan kemungkinan kebocoran ke kompleks militer-industri di Rusia – dan akhirnya ke medan perang di Ukraina.

197 Departemen Keuangan AS, ‘Specially Designated Nationals and Blocked Persons List (SDN) Human Readable Lists’, 28 June 2022, <<https://home.treasury.gov/policy-issues/financial-sanctions/specially-designated-nationals-and-blocked-persons-list-sdn-human-readable-lists>>, diakses pada 22 Juli 2022.

198 Atlas Perdagangan Altana, <<https://altana.ai/atlas/>>.

199 Mezhdunarodnyj Ob’yedinenyj Biographicheskij Centr [Pusat Persatuan Biografi Internasional], ‘Nacional’noe dostoyaniye, OAO “NIIME i Mikron” [“Harta Nasional, Perusahaan Gabungan Terbuka “NIIME dan Mikron”], <<http://www.biograph.ru/index.php/nationdestiny/5269-mikron>>, diakses pada 25 Juli 2022; Mikron, ‘Sejarah Mikron’, <<https://en.mikron.ru/company/history/>>, diakses pada 30 Juni 2022; Mikron, <<https://en.mikron.ru/>>, diakses pada 30 Juni 2022.

200 *Zelenograd Infoportal*, “‘Mikron’ zaimetsya proizvodstvom elementov noveyshey sistemy upravleniya dlya raket-nositelej” [“‘Mikron’ Akan Melaksanakan Produksi Elemen untuk Sistem Pandu Kendaraan Peluncuran Ruang Angkasa Terbaru’], 7 Desember 2016, <<https://www.netall.ru/society/news/983044.html>>, diakses pada 25 Juli 2022.

201 Departemen Keuangan AS, ‘Treasury (AS) Menargetkan Jaringan Penghindaran Sanksi serta Perusahaan Teknologi Rusia yang Memampukan Perang Putin’, 31 Maret 2022, <<https://home.treasury.gov/news/press-releases/jy0692>>, diakses pada 27 Juli 2022.

202 Atlas Perdagangan Altana, <<https://altana.ai/atlas/>>.

203 *Ibid.*

TOKO CHIP HONG KONG

Pada bulan Juni 2022, BIS menambahkan beberapa perusahaan non-Rusia ke dalam Daftar Entitasnya karena mendukung militer dan basis industri pertahanan Rusia,²⁰⁴ secara efektif menolak kemampuan mereka untuk mengimpor dan mengimpor ulang bahkan barang berklasifikasi EAR99 dari AS.

Di antaranya adalah sebuah perusahaan berbasis di Hong Kong bernama Sinno Electronics Co Ltd (信諾電子科技有限公司; alias Xinnuo Electronic Technology), yang mengoperasikan beberapa alamat di Hong Kong²⁰⁵ dan Shenzhen, di Cina Daratan.²⁰⁶ Perusahaan tersebut dimiliki dan dioperasikan oleh tiga warga negara Cina

bernama Peng Minbo (彭敏波; alias Betty Peng), Lin Qing (林青; alias Becky Lin), dan Hong Junxu (洪俊旭; alias Billy Hong; AKA 阿旭).²⁰⁷

Sinno mempunyai kehadiran daring yang luas dengan tampilan toko²⁰⁸ dan situs web berbahasa Inggris sepenuhnya,²⁰⁹ yang mengiklankan produk-produk buatan Analog Devices, Texas Instruments dan banyak produsen lainnya.²¹⁰ Perusahaan tersebut tampak telah menghadiri ExpoElectronica di Moskow minimal sejak tahun 2013,²¹¹ dan yang baru-baru ini tahun 2021.²¹² Selama pandemi virus corona, perusahaan tersebut bahkan mensponsori sebuah webinar tahun 2020 tentang 'Kerja Sama Rusia-Cina di bidang teknologi tinggi'.²¹³

204 Biro Perindustrian dan Keamanan Departemen Perdagangan AS, 'Tambahkan Entitas, Revisi dan Koreksi Entitas, serta Penghapusan Entitas dari Daftar Entitas', 30 Juni 2022, <<https://www.bis.doc.gov/index.php/documents/federal-register-notices-1/3043-public-display-version-of-entity-list-rule-on-public-display-and-effective-6-28-22-scheduled/file>>, diakses pada 22 Juli 2022.

205 Sinno Electronics, 'Hubungi Kami', <<http://www.sinnoelec.com/contact.aspx>>, diakses pada 22 Juli 2022.

206 Biro Perindustrian dan Keamanan Departemen Perdagangan AS, 'Daftar Federal / Vol. 87, No. 125', 30 Juni 2022, <<https://www.bis.doc.gov/index.php/documents/regulations-docs/federal-register-notices/federal-register-2022/3053-87-fr-38920-entity-list-rule-effective-6-28-22-published-6-30-22/file>>, diakses pada 22 Juli 2022.

207 Registri Perusahaan Hong Kong, <www.icris.cr.gov.hk>.

208 Inventaris Hong Kong, 'Sinno Electronics Co., Limited', <http://hksinno.hkinventory.com/Shop/Page_CompanyProfile.asp>, diakses pada 22 Juli 2022.

209 Sinno Electronics, 'Beranda', <<http://www.sinnoelec.com/index.aspx>>, diakses pada 22 Juli 2022.

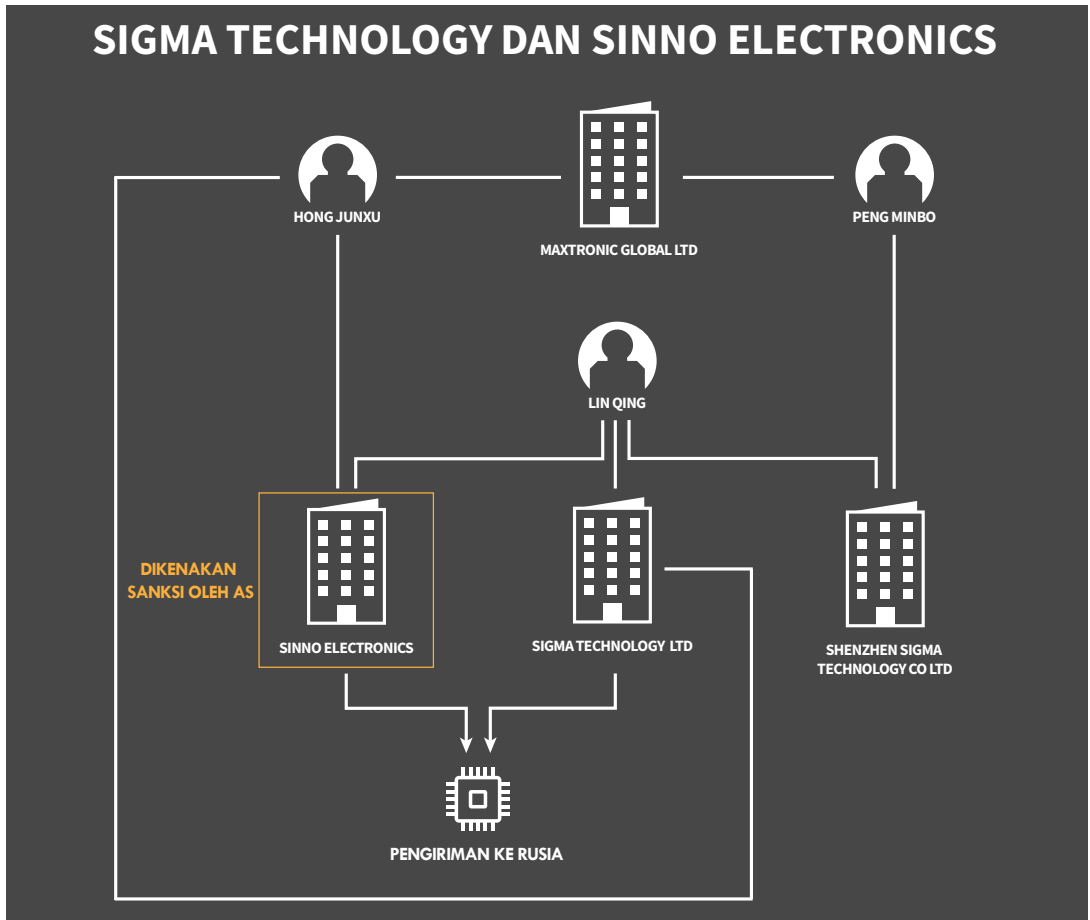
210 Sinno Electronics, 'Produk', <<http://www.sinnoelec.com/product.aspx>>, diakses pada 22 Juli 2022.

211 Inventaris Hong Kong, 'Expo Electronica Apr 10-12, 2013 Moskow', <<https://www.hkinventory.com/public/UpcomingEventDetail.asp?id=173>>, diakses pada 22 Juli 2022.

212 ExpoElectronica, 'ExpoElectronica dan ElectronTechExpo Akan Mempertemukan Para Produsen, Pemasok dan Pelanggan Terkemuka dalam Interaksi Langsung', siaran pers, 6 April 2021, <<https://expoelectronica.ru/Articles/press-release-en-ee-2021>>, diakses pada 22 Juli 2022.

213 ExpoElectronica, 'Kerja Sama Rusia-Cina', <<https://expoelectronica.ru/Page/russia-china-forum>>, diakses pada 22 Juli 2022.

Figure 24: Jaringan Sinno dan Sigma



Sumber: Biro Perindustrian dan Keamanan AS, Daftar Perusahaan Hong Kong, Qichacha; Atlas Perdagangan Altana; RUSI.

Sebuah tampilan toko daring untuk Sinno Electronics menyediakan inventarisasi terkini komponennya.²¹⁴ Dari keseluruhan 43 komponen yang tersedia, 20 terdaftar sebagai ekspor yang dikontrol oleh BIS. Secara khusus, banyak dari komponen terkontrol tersebut yang diproduksi oleh produsen perangkat mikroelektronik besar seperti NXP, Texas Instruments dan STMicroelectronics. Bahkan, salah satu dari komponen tersebut, yang diproduksi oleh STMicroelectronics, adalah mikrokontroler STM32F103VCT6,²¹⁵ model yang sama persis dengan yang diperbaiki dari PUNA Orlan-10 dan digunakan oleh Angkatan Darat Rusia di Ukraina.

Catatan perdagangan dan deklarasi impor menunjukkan bahwa antara tahun 2017 dan tahun 2021, Sinno mengekspor volume-volume besar semikonduktor dan perangkat mikroelektronik ke beragam luas perusahaan Rusia.²¹⁶ Salah satu di antaranya, perusahaan yang berbasis di Moskow OOO Trade-Component, dikenakan sanksi oleh pemerintah AS pada 12 Juli 2021 karena diduga ‘terlibat dalam pengadaan komponen elektronik asal AS kemungkinan sebagai kelanjutan dari program-program militer Rusia’.²¹⁷

Pengiriman-pengiriman Sinno ke OOO Trade-Component tampaknya telah berhenti pada

214 Inventaris Hong Kong, ‘Sinno Electronics Co., Limited’, <http://hksinno.hkinventory.com/Shop/Page_Inventory.asp>, diakses pada 22 Juli 2022.

215 *Ibid.*

216 Data perdagangan yang disuplai oleh penyedia komersial pihak ketiga.

217 ‘Tambahan Entitas-Entitas Tertentu pada Daftar Entitas; Revisi atas Entri yang Ada pada Daftar Entitas; Penghapusan Entitas Dari Daftar Belum Terverifikasi; serta Tambahan Entitas pada Daftar Pengguna Akhir Militer (MEU)’, 12 Juli 2021, <<https://www.federalregister.gov/documents/2021/07/12/2021-14656/addition-of-certain-entities-to-the-entity-list-revision-of-existing-entry-on-the-entity-list>>, diakses pada 10 Juli 2022.

Juni 2021, ketika penjual Hong Kong itu mengirimkan sirkuit terpadu elektronik dengan merek Analog Devices bernilai lebih dari 100.000 dolar AS ke Moskow.²¹⁸

Akan tetapi, catatan perusahaan Hong Kong mengungkapkan bahwa Becky Lin dan Billy Hong mempunyai satu perusahaan lain yang terdaftar secara lokal bernama Sigma Technology Limited (希舸電子技術有限公司)²¹⁹ yang telah mengirimkan volume-volume besar perangkat mikroelektronik dan barang terkait ke Rusia.²²⁰ Menurut catatan perdagangan yang dilaporkan antara bulan April 2018 dan bulan Juni 2021, perusahaan tersebut mengirimkan barang bernilai lebih dari 3 juta dolar AS ke Rusia, lebih dari tujuh kali lipat dibanding yang dikirimkan ke Rusia oleh anak perusahaan Sinno Electronics dalam periode yang sama.²²¹

Dibentuk hanya dua bulan setelah invasi Rusia ke Crimea pada tahun 2014,²²² Sigma Technology hanya tampak telah mengirimkan barang

ke sejumlah kecil pelanggan. Salah satu di antaranya adalah RTKT, yang disebut di atas, yang menerima ratusan pengiriman perangkat mikroelektronik dari Sigma antara bulan Februari 2017 dan bulan Desember 2021.²²³ Anehnya, meskipun catatan perdagangan untuk Sinno Electronics tidak melaporkan adanya pengiriman komponen dengan merek STMicroelectronics ke Rusia antara tahun 2017 dan 2021, Sigma telah melakukan sekurangnya 35 pengiriman komponen dari merek tersebut ke RTKT dalam periode yang sama.²²⁴

Secara khusus, Sigma juga mengirimkan perangkat mikroelektronik ke pemasok-pemasok militer lain, misalnya AO Radiopriborsnab,²²⁵ pemasok komponen elektronik yang merupakan bagian dari perusahaan yang terkena sanksi (dan sesungguhnya dimiliki oleh Rostec) Concern Radio-Electronic Technologies (Concern Radioelektronnye tehnologii, atau 'CRET').

218 Data perdagangan yang disuplai oleh penyedia komersial pihak ketiga.

219 Registri Perusahaan Hong Kong, <www.icris.cr.gov.hk>.

220 Data perdagangan yang disuplai oleh penyedia komersial pihak ketiga.

221 *Ibid.*

222 Registri Perusahaan Hong Kong, <www.icris.cr.gov.hk>.

223 Data perdagangan yang disuplai oleh penyedia komersial pihak ketiga.

224 *Ibid.*

225 Atlas Perdagangan Altana, <<https://altana.ai/atlas/>>.

Kesimpulan

Setelah invasi Rusia ke Ukraina dan pengenaan sanksi internasional, Administrasi Kepresidenan Rusia menetapkan sebuah komite untuk mengkaji bagaimana industri pertahanan Rusia dapat meneruskan produksi sistem militer penting. Beberapa laboratorium Akademi Ilmu Pengetahuan Rusia beserta usaha-usaha militer besar milik negara ditugaskan dengan pengkajian apakah mereka dapat memproduksi komponen di Rusia, apakah mereka dapat mensubstitusi komponen yang sekarang terkena sanksi dengan komponen alternatif yang diproduksi di negara-negara tempat suplai tetap dapat diakses, atau apakah perlu untuk menghindari sanksi. Hasil dari kajian-kajian tersebut tidaklah menggembirakan. Agar senjata Rusia menggunakan komponen bersumber dari luar negeri, produsen perlu meyakinkan Kementerian Pertahanan Rusia mengapa komponen tertentu harus digunakan. Produsen harus menjelaskan mengapa itu tidak dapat dibuat di Rusia secara ekonomis, mengapa komponen alternatif dari suatu negara bersahabat tidak dapat disubstitusi dan mengapa pengenalan komponen tersebut tidak mengkompromikan keamanan perangkat. Untuk sistem komunikasi militer, arsitektur spesifik harus juga disetujui oleh FSB, yang bertanggung jawab untuk memastikan keamanan enkripsi Rusia. Secara singkat, kebanyakan komponen buatan luar negeri yang diidentifikasi dalam sistem senjata Rusia yang dipaparkan di dalam laporan ini adalah sebagian

besar sangat menentukan kelangsungan sistem-sistem tersebut.

Secara historis, pasukan khusus Rusia telah mencapai keberhasilan yang signifikan dalam memelihara suplai perangkat mikroelektronik Barat. Mereka memperoleh volume tinggi komponen selama Perang Dingin dan memperluas pengadaan barang-barang tersebut secara signifikan setelah sanksi-sanksi Perang Dingin dicabut. Dalam banyak kasus, militer Rusia telah melakukan pengadaan komponen untuk sistem penting bernilai satu dekade di muka, tepatnya untuk mengamankan produksi terhadap sanksi. Bagaimanapun juga, jelas bahwa mereka tidak mencapainya untuk semua komponen yang diidentifikasi di dalam laporan ini. Mengingat Rusia telah mengumpulkan persenjataan senjata kompleks yang menimbulkan ancaman bagi keamanan internasional dan telah mendemonstrasikan di Ukraina bahwa pemerintah Rusia tidak mempunyai hambatan tentang menggunakan senjata-senjata tersebut untuk tujuan perang agresif, termasuk dengan sengaja menargetkan warga sipil, kekuatan dan penegakan sanksi di masa mendatang menjadi sangat penting agar Rusia tidak membangun kembali persenjataan dari timbuna stoknya.

Banyak dari pengadaan Rusia akan perangkat mikroelektronik Barat untuk tujuan militer melibatkan penggunaan sertifikat pengguna

akhir palsu, perusahaan depan dan pindah muatan. Memetakan dan menutup jaringan-jaringan ini merupakan sebuah langkah pertama dalam membatasi industri pertahanan Rusia, namun karena Rusia menstruktur ulang arsitektur pengadaannya, menyalahgunakan Konvensi Wina untuk memindahkan komponen yang diadakan di bawah pretensi-pretensi palsu, dan berusaha mengkorupsi atau menyusupi badan-badan pembuat peraturan, mencegah transfer masa mendatang komponen-komponen semacam tersebut ke Rusia akan membutuhkan kewaspadaan yang signifikan dan berkelanjutan. Jelas juga – mengingat penggunaan meluas negara-negara ketiga untuk kegiatan pindah muatan penjualan komponen selanjutnya – bahwa membatasi industri pertahanan Rusia akan membutuhkan kerja sama internasional yang signifikan.

Penting juga untuk memahami konsekuensi tidak disengaja dari memutuskan akses ke komponen kritis bagi kompleks senjata Rusia. Banyak negara telah bergantung pada Rusia sebagai pemasok senjata. Kepastian akan senjata-senjata tersebut tetap bersifat menentukan bagi keamanan nasional mereka. Untuk negara-negara seperti India, yang memperoleh 45% dari impor pertahanannya dari Rusia,²²⁶ hilangnya akses ke peralatan Rusia berarti sebuah ancaman keamanan. Ini mungkin mendorong negara-negara dalam posisi ini untuk memfasilitasi penghindaran sanksi. Alternatifnya, karena hanya beberapa dari negara-negara dalam posisi ini yang mempunyai industri besar perangkat mikroelektronik, ini bisa menjadi katalisator untuk mengganti pemasok mereka. Ini menghadirkan kesempatan bagi persekutuan Barat jika ia dapat mengajukan proposal membangun ke negara-negara tersebut, sambil menghindari pendekatan eksploitatif terhadap penjualan militer luar negeri. Itu dapat juga secara signifikan memasamkan hubungan

dengan beberapa negara yang kuat jika tidak ada proposal membangun yang dimajukan sementara sanksi Barat melemahkan keamanan nasional.

Kekuatan militer Rusia telah ditopang oleh sebuah tali penolong silikon; tali penolong yang menjulur dari AS, melintasi Inggris Raya, ke Belanda, Jerman, Swiss dan Perancis, ke Taiwan, Korea Selatan dan Jepang. Tanpa tali penolong itu, militer Rusia akan terbelenggu dalam pemakaian teknologi yang kian usang, tanpa kemampuan mewujudkan ketepatan atau efisiensi di medan perang. Ini mungkin membuat persenjataan Rusia semakin tergantung pada Cina, atau kembali ke eskalasi lebih cepat ke penggunaan nuklir taktis dalam konflik, mengingat dinamika tidak menguntungkan yang harus dihadapinya dalam operasi konvensional. Pertanyaan kritis yang diajukan laporan ini kepada para pembuat kebijakan Barat adalah apakah tali penolong silikon ini akan diputus, dan apakah negara-negara terkait siap untuk mengeksploitasi kesempatan yang tercipta dari pemutusannya.

PENULIS

James Byrne adalah Direktur Open Source Intelligence and Analysis (OSIA) di RUSI.

Gary Somerville adalah Rekan Peneliti (Research Fellow) dalam OSIA di RUSI.

Joseph Byrne adalah Rekan Peneliti dalam OSIA di RUSI.

Jack Watling adalah Rekan Peneliti Senior untuk Perang Darat (Land Warfare) di RUSI.

Nick Reynolds adalah Analis Penelitian untuk Perang Darat di RUSI.

Jane Baker adalah konsultan mandiri.

226 *Economic Times*, 'Saham Impor Senjata Rusia ke India Jatuh dari 69% pada 2012-17 ke 46% pada 2017-21: Laporan', 15 Maret 2022, <<https://economictimes.indiatimes.com/news/defence/russias-share-of-arms-import-to-india-fell-from-69-in-2012-17-to-46-in-2017-21-report/articleshow/90218483.cms>>, diakses pada 10 Juli 2022.



18



31

