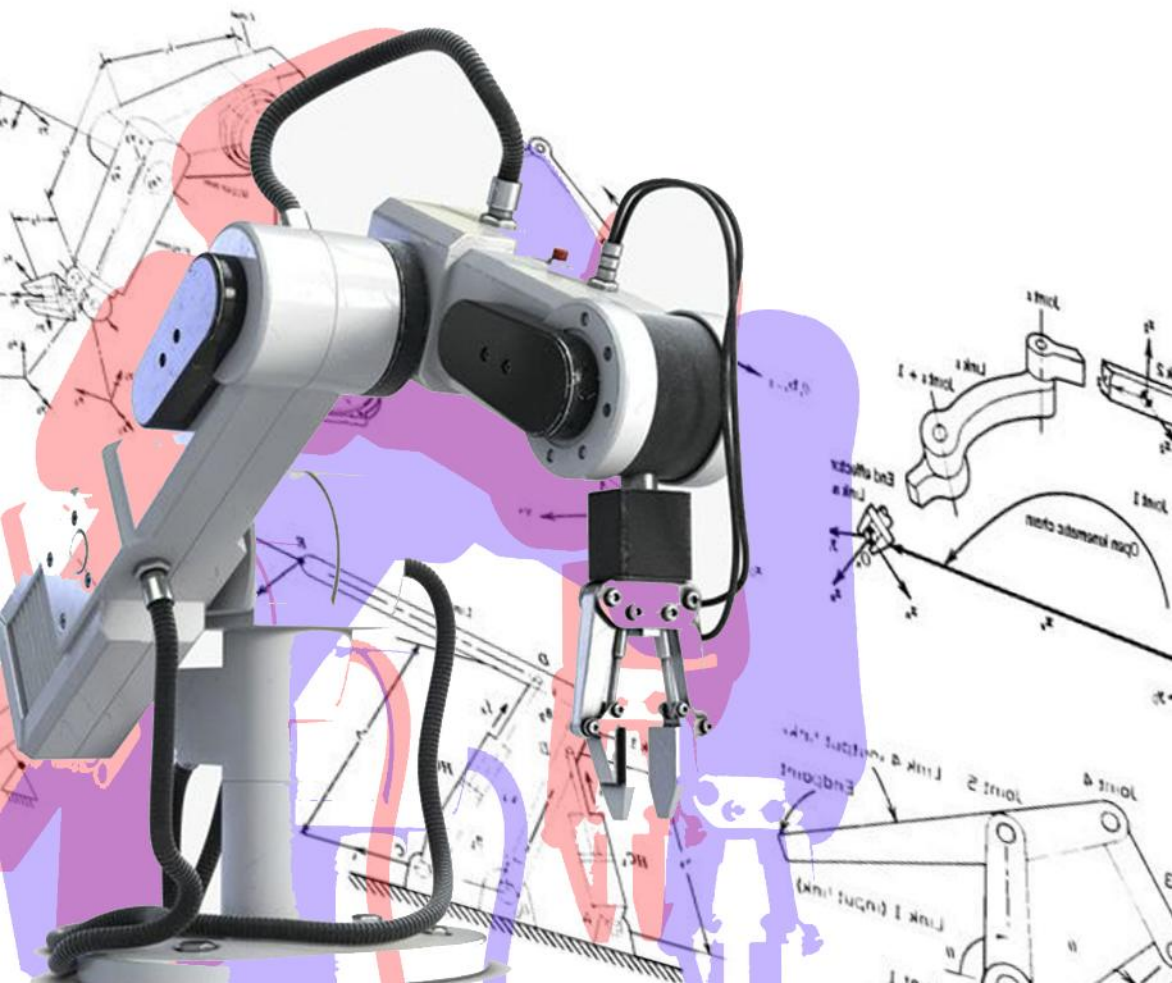




BELAJAR KINEMATIKA

ROBOT MANIPULATOR MENGUNAKAN SIMULASI KOMPUTER



**BELAJAR KINEMATIKA ROBOT
MANIPULATOR MENGGUNAKAN
SIMULASI KOMPUTER**

BELAJAR KINEMATIKA ROBOT MANIPULATOR MENGGUNAKAN SIMULASI KOMPUTER

Muhammad Fuad
Sri Wahyuni
Hairil Budiarto
Vivi Tri Widyaningrum
Mochammad Ilham Darmawan
Fahmi Maulana



BELAJAR KINEMATIKA ROBOT MANIPULATOR MENGGUNAKAN SIMULASI KOMPUTER

Penulis:

Muhammad Fuad
Sri Wahyuni
Hairil Budiarto
Vivi Tri Widyaningrum
Mochammad Ilham Darmawan
Fahmi Maulana

Editor:

Yanti Arasi Sidabutar, M.Pd.

Layouter :

Tim Kreatif PRCI

Cover:

Rusli

Cetakan Pertama : Agustus 2023

Hak Cipta 2023, pada Penulis. Diterbitkan pertama kali oleh:

Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia

ANGGOTA IKAPI JAWA BARAT

Pondok Karisma Residence Jalan Raflesia VI D.151
Panglayungan, Cipedes Tasikmalaya – 085223186009

Website : www.rcipress.rcipublisher.org

E-mail : rumahcemerlangindonesia@gmail.com

Copyright © 2022 by Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
All Right Reserved

- Cet. I - : Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia, 2022
; 15,5 x 23 cm
ISBN : 978-623-448-592-9

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak buku ini dalam bentuk dan dengan
cara apapun tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang
Hak Cipta Pasal 72

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta
Pasal 72

Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling sedikit 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp.1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).

Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta terkait sebagai dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)

KATA PENGANTAR

Assalaamu 'Alaikum.

Alhamdulillah. Sholaatu wa salaamu 'alaa rasulillaah. Segala puji bagi Allaah yang telah memberi petunjuk, kemudahan, kelancaran kepada kami dalam mempersiapkan buku ajar dalam topik kinemetika robot. Buku ini membahas tentang sejarah robot, teknik representasi posisi dan orientasi, matrik rotasi, *rigid body* dan transformasi homogen, notasi *Denavit-Hartenberg*, model kinematika *Forward Kinemtics*, *Forward Differential Kinematics*, *Inverse Kinematics*, dan *Inverse Differential Kinematics*. Materi dari buku ini dapat dimanfaatkan untuk pembelajaran yang mendasari mata kuliah Robot Manipulator. Buku ini dilengkapi dengan implementasi model matematika dari robot manipulator dalam bentuk simulasi program komputer. Semoga buku ini bermanfaat.

Bangkalan, Agusutus 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	I
DAFTAR ISI	II
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Deskripsi Singkat	1
1.2. Tujuan Pembelajaran	1
1.3. Pengertian Robotika	1
1.4. Sejarah Ringkas Mengenai Robot	1
1.5. Robot Manipulator	5
1.6. Robot Mobil	9
1.7. Rangkuman	11
1.8. Berlatih	11
1.9. Referensi	11
 BAB 2 MENGIDENTIFIKASI MODEL KINEMATIKA	 13
2.1. Deskripsi Singkat	13
2.2. Tujuan Pembelajaran	13
2.3. Model Kinematika Robot	13
2.4. Rangkuman	14
2.5. Berlatih	15
2.6. Referensi	15
 BAB 3 MENJELASKAN MENGENAI DERAJAT KEBEBASAN	 17
3.1. Deskripsi Singkat	17
3.2. Tujuan Pembelajaran	17
3.3. Komponen dan Struktur Robot	17
3.4. <i>Workspace</i>	19
3.5. Klasifikasi Robot	20
3.6. Sumber Tenaga	20
3.7. Area Aplikasi	20
3.8. Cara <i>Joint</i> Diaktuasi	21
3.9. Metode Pengendalian	21

3.10.	Geometri	22
3.11.	Akurasi and Keterulangan	33
3.12.	Wrist and End-Effector	33
3.13.	Rangkuman	33
3.14.	Berlatih	34
3.15.	Referensi	34

BAB 4	MENEMUKAN HUBUNGAN ANTARA POSISI – ORIENTASI DAN MATRIK ROTASI	35
4.1.	Deskripsi Singkat	35
4.2.	Tujuan Pembelajaran	35
4.3.	Relasi antara Posisi dan Orientasi	35
4.4.	Merepresentasikan Posisi	35
4.5.	Tinjauan Kinematika dari Suatu Robot	37
4.6.	Rangkuman	38
4.7.	Berlatih	38
	Referensi	39

BAB 5	MENUNJUKKAN HUBUNGAN ANTARA FRAME LOKAL DAN GLOBAL	40
5.1.	Deskripsi Singkat	40
5.2.	Tujuan Pembelajaran	40
5.3.	Menyatakan Posisi dan Orientasi	40
5.4.	Menyatakan Rotasi pada Bidang 2 Dimensi	40
5.5.	Komponen x dari Matrik Rotasi	41
5.6.	Komponen y dari Matrik Rotasi	42
5.7.	Komponen x dan y dari Matrik Rotasi	43
5.8.	Rangkuman	43
5.9.	Berlatih	43
5.10.	Referensi	45

BAB 6	MERANCANG SIMULASI ROBOT MANIPULATOR 1 LENGAN DENGAN MATRIK ROTASI PADA RUANG 2 DIMENSI	46
6.1.	Deskripsi Singkat	46
6.2.	Tujuan Pembelajaran	46
6.3.	Merancang Simulasi Robot 1 Lengan pada Ruang 2 Dimensi	46

6.4. Rangkuman	49
6.5. Berlatih	50
Referensi	50

BAB 7	MERANCANG SIMULASI ROBOT 1 LENGAN DENGAN	
	MATRIK ROTASI PADA RUANG 3 DIMENSI	51
7.1.	Deskripsi Singkat	51
7.2.	Tujuan Pembelajaran	51
7.3.	Merancang Simulasi Robot 1 Lengan pada Ruang 3 Dimensi	51
7.4.	Transformasi Rotasional	52
7.5.	Rangkuman	55
7.6.	Berlatih	55
7.7.	Referensi	58

BAB 8	MENUNJUKKAN KOMPOSISI ROTASI	59
8.1.	Deskripsi Singkat	59
8.2.	Tujuan Pembelajaran	59
8.3.	Komposisi Rotasi dengan <i>Current Frame</i>	59
8.4.	Komposisi Rotasi dengan <i>Fixed Frame</i>	61
8.5.	Rangkuman	62
8.6.	Berlatih	62
8.7.	Referensi	62

BAB 9	MENGHITUNG ROTASI BERPARAMETER	63
9.1.	Deskripsi Singkat	63
9.2.	Tujuan Pembelajaran	63
9.3.	Rotasi berparameter	63
9.4.	Rotasi berparameter dengan <i>Euler Angles</i>	63
9.5.	Rotasi berparameter dengan <i>Roll Pitch Yaw</i>	64
9.6.	Rotasi berparameter dengan <i>Axis/Angle</i>	65
9.7.	Rangkuman	65
9.8.	Berlatih	65
9.9.	Referensi	65

BAB 10	MEMBUKTIKAN TRANSFORMASI HOMOGEN	66
11.1.	Deskripsi Singkat	66
11.2.	Tujuan Pembelajaran	66
11.3.	<i>Rigid Motion</i>	66
11.4.	Transformasi Homogen	66
11.5.	Rangkuman	69
11.6.	Berlatih	69
11.7.	Referensi	70
BAB 11	MEMBUKTIKAN PERSAMAAN <i>FORWARD KINEMATICS</i>	71
12.1.	Deskripsi Singkat	71
12.2.	Tujuan Pembelajaran	71
12.3.	Kinematika	71
12.4.	Rangkuman	73
12.5.	Berlatih	73
12.6.	Referensi	74
BAB 12	MENGHUBUNGKAN TRANSFORMASI HOMOGEN DAN <i>FORWARD KINEMATICS</i> DENGAN NOTASI <i>DENAVIT-HARTENBERG</i>	75
13.1.	Deskripsi Singkat	75
13.2.	Tujuan Pembelajaran	75
13.3.	Rantai Kinematika	75
13.4.	Notasi <i>Denavit-Hartenberg</i>	78
13.5.	Menentukan Frame Koordinat	81
13.6.	Langkah DH Iteratif	81
13.7.	Langkah Pengaplikasian DH	82
13.8.	Rangkuman	84
13.9.	Berlatih	84
13.10.	Referensi	85
BAB 13	MEMBAHAS PERBEDAAN ANTARA <i>FORWARD</i> DAN <i>INVERSE KINEMATICS</i>	86
14.1.	Deskripsi Singkat	86
14.2.	Tujuan Pembelajaran	86
14.3.	Inverse Kinematics	86

14.4.	Kinematics Decoupling	86
14.5.	Rangkuman	86
14.6.	Berlatih	86
14.7.	Referensi	87

**BAB 14 MENKOMBINASIKAN BEBERAPA MATRIK ROTASI
DALAM SIMULASI GERAKAN ROBOT MANIPULATOR LENGAN
MAJEMUK 88**

14.1.	Deskripsi Singkat	88
14.2.	Tujuan Pembelajaran	88
14.3.	Contoh	88
14.4.	Berlatih	89
14.5.	Referensi	93

DAFTAR PUSTAKA	94
----------------	----

GLOSARIUM	95
-----------	----

INDEKS	98
--------	----

BIOGRAFI PENULIS	99
------------------	----

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Deskripsi Singkat

Bagian ini menjelaskan tentang terminologi dan sejarah robotika serta mendiskusikan mengenai komponen robot. Bab ini merupakan dasar bagi bab-bab berikutnya.

1.2. Tujuan Pembelajaran

Standar kompetensi yang ingin dicapai pada bab ini adalah membentuk pemahaman terhadap pengertian robotika, sejarah dan komponen robot.

1.3. Pengertian Robotika

Robotika adalah bidang teknologi modern yang relatif baru. Bidang ini melintasi batas-batas teknik konvensional. Memahami kompleksitas robot dan aplikasinya membutuhkan pengetahuan tentang teknik elektro, teknik mesin, teknik sistem dan industri, ilmu komputer, ekonomi, dan matematika. Disiplin ilmu teknik baru, seperti teknik manufaktur, teknik aplikasi, dan teknik pengetahuan telah muncul untuk menghadapi kompleksitas bidang robotika dan otomasi industri. Baru-baru ini, robot mobil semakin penting untuk aplikasi seperti kendaraan otonom dan eksplorasi planet. Buku ini berkaitan dengan dasar-dasar robotika, khususnya kinematika.

Bab ini bertujuan untuk memberikan pengenalan konsep yang paling penting dalam bidang robot sebagaimana diterapkan pada robot manipulator dan robot mobil di industri.

1.4. Sejarah Ringkas Mengenai Robot

Istilah robot pertama kali diperkenalkan oleh dramawan Ceko Karel Capek dalam lakonnya tahun 1920 Robot *Universal Rossum*, kata *robota* menjadi kata Ceko untuk pekerja. Sejak saat itu istilah tersebut telah diterapkan pada berbagai macam perangkat mekanis, seperti drone, mobil otonom, teleoperator, kendaraan bawah air, dan lain-lain. Hampir segala sesuatu yang beroperasi

dengan tingkat otonomi tertentu di bawah kendali komputer dapat disebut sebagai robot. Buku ini dalam pembahasannya memiliki fokus pada robot manipulator yang dibandingkan dengan robot bergerak. Tabel 1.1 menampilkan perkembangan teknologi robotika secara ringkas.

Tabel 1.1 Perkembangan Teknologi Robotika

Tahun	Pencapaian
1947	Pengembangan teleoperator dengan motor servo bertenaga listrik pada tahap awal.
1948	Teleoperator dikembangkan dengan menggabungkan umpan balik gaya.
1949	Dimulainya penelitian tentang mesin penggilingan yang dikontrol secara numerik.
1954	Robot yang dapat diprogram dirancang pertama kali oleh George Devol.
1956	Perusahaan bidang robotika Bernama Unimation didirikan oleh Joseph Engelberger, seorang mahasiswa fisika Universitas Columbia, dengan cara membeli hak atas robot Devol.
1961	General Motors Trenton yang ada di kota New Jersey mengaplikasikan robot Unimate untuk pertama kalinya untuk merawat mesin <i>die casting</i> .
1961	Robot pertama yang menggabungkan umpan balik gaya dikembangkan.
1963	Pengembangan sistem visi robot pertama

	kalinya.
1971	Robot manipulator Stanford dikembangkan di Universitas Stanford.
1973	Bahasa pemrograman robot pertama (WAVE) dikembangkan di Stanford.
1974	Cincinnati Milacron memperkenalkan robot T 3 dengan kontrol komputer.
1975	Perusahaan bidang robot, Unimation Inc., mencatatkan keuntungan finansial pertamanya.
1976	Perangkat <i>Remote Center Compliance</i> (RCC) untuk penyisipan komponen dalam perakitan dikembangkan di Draper Labs di Boston.
1976	Robot manipulator digunakan pada wahana antariksa Viking I dan II dan mendarat di Mars.
1978	Unimation memperkenalkan robot PUMA, berdasarkan desain dari studi General Motors.
1979	Desain robot SCARA diperkenalkan di Jepang.
1981	Robot <i>direct-drive</i> pertama dikembangkan di Carnegie-Mellon University.
1982	Fanuc dari Jepang dan General Motors membentuk GM Fanuc untuk memasarkan robot di Amerika Utara.
1983	Teknologi Adept didirikan dan berhasil

	memasarkan robot penggerak langsung.
1986	Robot bawah air, Jason, dari Woods Hole Oceanographic Institute, menjelajahi bangkai kapal Titanic, yang ditemukan setahun sebelumnya oleh Dr. Robert Barnard.
1988	Grup Stäubli membeli Unimation dari Westinghouse.
1988	Terbentuknya Masyarakat Robotika dan Otomasi IEEE.
1993	Robot eksperimental, ROTEX, dari Badan Dirgantara Jerman (DLR) diterbangkan di atas pesawat ulang-alik Columbia dan melakukan berbagai tugas di bawah mode terprogram luring berbasis teleoperasi dan berbasis sensor.
1996	Honda memperkenalkan robot Humanoid-nya; sebuah proyek dimulai secara rahasia.
1997	Kompetisi sepak bola robot pertama, RoboCup-97, diadakan di Nagoya, Jepang dan menarik 40 tim dari seluruh dunia.
1997	Robot mobil Sojourner melakukan perjalanan ke Mars dengan misi Mars PathFinder NASA.
2001	Sony mulai memproduksi massal robot rumah tangga pertama, robot anjing bernama Aibo.
2001	Sistem Manipulasi Jarak Jauh Stasiun Luar Angkasa (SSRMS) diluncurkan di luar angkasa dengan pesawat ulang-alik Endeavour untuk

	memfasilitasi kelanjutan pembangunan stasiun luar angkasa.
2001	<i>Telesurgery</i> pertama dilakukan ketika ahli bedah di New York melakukan pengangkatan kantung empedu laparoskopi pada seorang wanita di Strasbourg, Prancis.
2001	Robot digunakan untuk mencari korban di situs World Trade Center setelah tragedi 11 September.
2002	Honda Humanoid Robot ASIMO membunyikan bel pembukaan di New York Stock Exchange pada tanggal 15 Februari.
Tuliskan sejarahmu di sini	
2012	Mengembangkan robot pembersih lantai dengan navigasi berbasis sensor Kinect. [4] [5]
2015	Riset tentang robot manipulator peniru gerak dikerjakan dengan memanfaatkan deteksi <i>skeleton</i> . [3]
2020	Pengembangan robot mobil pengantar barang yang beroperasi di lingkungan <i>indoor</i> . [2]
2021	Robot penghindar pedestrian dalam lingkungan manusia. [6]
2022	Penelitian tentang perencanaan lintasan untuk aplikasi <i>maze exploration</i> . [7]
2023	Navigasi robot mobil dengan stereo vision. [8]

1.5. Robot Manipulator

Manipulator industri dari jenis yang ditunjukkan pada Gambar 1.1 pada dasarnya adalah lengan mekanik yang beroperasi dengan menggunakan kendali komputer. Perangkat semacam itu,

meskipun jauh dari robot fiksi ilmiah, namun merupakan sistem elektromekanis yang sangat kompleks yang deskripsi analitiknya memerlukan metode canggih, menghadirkan banyak masalah penelitian yang menantang dan menarik.



Gambar 1.1 Robot Manipulator SCORBOT

Definisi resmi dari *Robot Institute of America* (RIA): “Robot adalah manipulator multi-fungsi yang dapat diprogram ulang; yang dirancang untuk memindahkan material, bagian, alat, atau perangkat khusus melalui gerakan terprogram variabel untuk mengerjakan berbagai tugas”.

Elemen kunci dalam definisi robot menurut RIA adalah kemampuan pemrograman ulang, yang memberi robot kegunaan dan kemampuan beradaptasi. Apa yang disebut revolusi robotika sebenarnya adalah bagian dari revolusi komputer yang lebih besar.

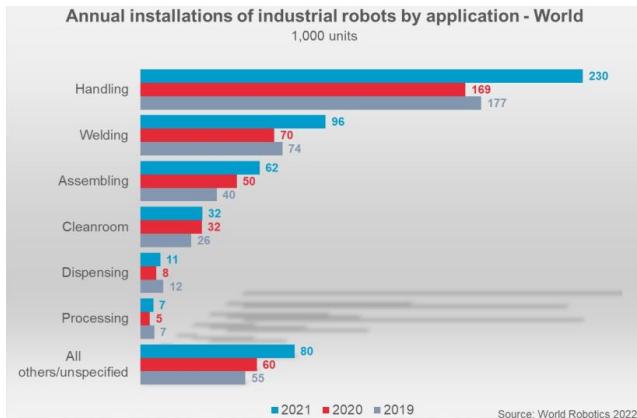
Bahkan definisi robot yang terbatas ini memiliki beberapa fitur yang membuatnya menarik di lingkungan industri. Di antara

keuntungan yang sering dikutip dalam mendukung pengenalan robot adalah penurunan biaya tenaga kerja, peningkatan presisi dan produktivitas, peningkatan fleksibilitas dibandingkan dengan mesin khusus, dan kondisi kerja yang lebih manusiawi karena pekerjaan yang membosankan, berulang, atau berbahaya dilakukan oleh robot.

Manipulator industri lahir dari perkawinan dua teknologi sebelumnya: teleoperator dan mesin penggilingan yang dikontrol secara numerik. *Teleoperator*, atau perangkat *master-slave*, dikembangkan selama perang dunia kedua untuk menangani bahan radioaktif. *Computer numerical control* (CNC) dikembangkan karena dibutuhkan presisi tinggi dalam permesinan item tertentu, seperti komponen pesawat berperforma tinggi. Robot industri pertama pada dasarnya menggabungkan hubungan mekanis teleoperator dengan otonomi dan kemampuan program mesin CNC.

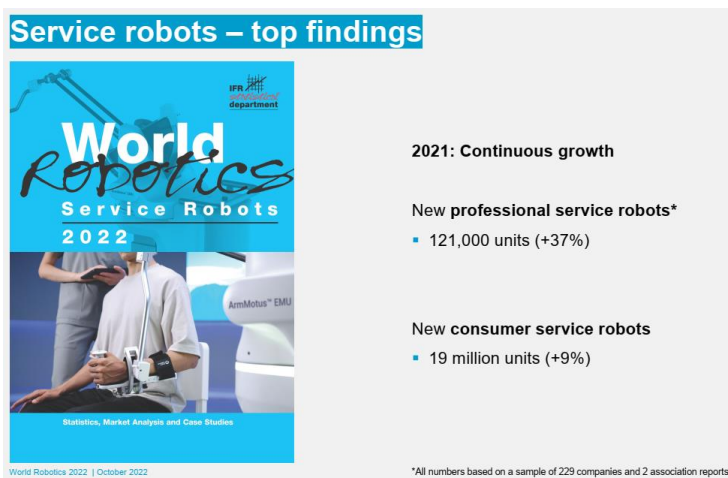
Aplikasi manipulator robot pertama yang berhasil umumnya melibatkan semacam transfer material, seperti cetakan injeksi atau stamping, di mana robot hanya menghadiri pers untuk membongkar dan mentransfer atau menumpuk bagian yang sudah jadi. Robot pertama ini dapat diprogram untuk melakukan serangkaian gerakan, seperti pindah ke lokasi A, menutup gripper, pindah ke lokasi B, dll., tetapi tidak memiliki kemampuan sensor eksternal.

Aplikasi yang lebih kompleks, seperti pengelasan, penggilingan, *deburring*, dan perakitan, tidak hanya memerlukan gerakan yang lebih kompleks, tetapi juga beberapa bentuk penginderaan eksternal seperti penglihatan, sentuhan, atau penginderaan gaya, karena meningkatnya interaksi robot dengan lingkungannya. Gambar 1.2 menunjukkan pemasangan robot industri berdasarkan aplikasi dengan data antara tahun 2019 hingga 2021.



Gambar 1.2 Pemasangan robot industri 2019 - 2021

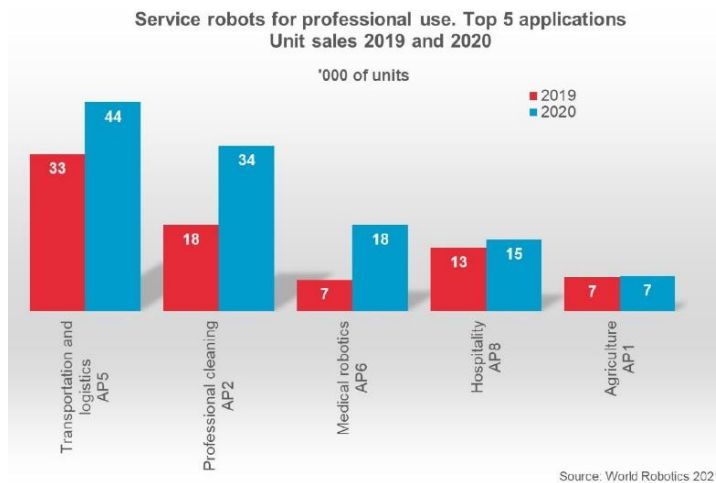
Di masa mendatang, pasar robot pelayan dan medis kemungkinan akan lebih besar daripada pasar robot industri. Robot layanan didefinisikan sebagai robot di luar sektor manufaktur, seperti robot penyedot debu, mesin pemotong rumput, pembersih jendela, robot pengiriman, dll. Pada tahun 2021 saja, lebih dari 19 juta robot pelayan terjual di seluruh dunia sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3 Penjualan robot pelayan pada 2021

Pasar asisten robot untuk perawatan lansia dan robot medis lainnya di masa depan juga akan kuat karena populasi terus

menua sebagaimana diungkap data pada Gambar 1.4. Pada umumnya, robot pelayan dilengkapi dengan kemampuan untuk bergerak bebas. Robot jenis ini dikenal sebagai robot mobil.



Gambar 1.4 Kebutuhan pasar terhadap robot mobil

1.6. Robot Mobil

Robot mobil mencakup robot yang digerakkan roda dan lintasan, robot berjalan, robot memanjat, berenang, merangkak, dan terbang. Tipikal mobile robot beroda ditunjukkan pada Gambar 1.5. Robot mobil digunakan sebagai robot rumah tangga untuk penyedot debu dan robot pemotong rumput, sebagai robot lapangan untuk pengawasan, pencarian dan penyelamatan, pemantauan lingkungan, kehutanan dan pertanian, dan aplikasi lainnya. Kendaraan otonom, misalnya mobil dan truk yang dapat mengemudi sendiri, merupakan bidang robotika yang sedang berkembang.