

**PENGARUH WAKTU DAN TEMPERATUR PERLAKUAN
PERMUKAAN TERHADAP NILAI KEKERASAN
PADUAN *As-Cast CoCrMo* UNTUK
APLIKASI IMPLAN**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

Fitria Ramadayanti
3334170070

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON BANTEN**

2024

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH WAKTU DAN TEMPERATUR LAKU
PERMUKAAN TERHADAP NILAI KEKERASAN
PADUAN *As-Cast CoCrMo* UNTUK
APLIKASI IMPLAN**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II



Prof. Alfirano, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197406292003121001



Dr. Indah Uswatun Hasanah, S.Si., M.T
NIP. 199012142019032022

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH WAKTU DAN TEMPERATUR PERLAKUAN
PERMUKAAN TERHADAP NILAI KEKERASAN
PADUAN *As-Cast* CoCrMo UNTUK
APLIKASI IMPLAN**

Disusun dan diajukan oleh:

Fitria Ramadayanti

3334170070

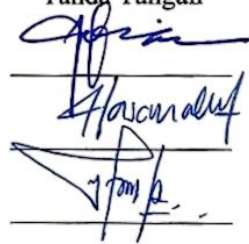
Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal

11 Juli 2024

Susunan Dewan Penguji

Penguji I: Prof. Alfirano, S.T., M.T., Ph.D.
Penguji II: Dr. Indah Uswatun Hasanah, S.Si., M.T
Penguji III: Yeni Muriani Zulaida, S.T., M.T.

Tanda Tangan



Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 198003072005011002

LEMBAR PENYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Pengaruh Waktu dan Temperatur Perlakuan Permukaan Terhadap
Nilai Kekerasan Paduan *As-cast* CoCrMo Untuk Aplikasi Implan
Nama : Fitria Ramadayanti
NIM : 3334170070
Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 30 Juli 2024



Fitria Ramadayanti
NIM. 3334170070

ABSTRAK

Paduan CoCrMo merupakan paduan biokompatibilitas yang menjadi salah satu paduan terpenting dalam aplikasi ortopedi, terutama sebagai bahan implan pada sendi pinggul dan lutut. Namun, paduan ini menghasilkan jumlah partikel aus halus yang tinggi dan memicu respon imun inflamasi terkait dengan kegagalan implan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu dan temperatur pada proses *pack carbonitriding* dan *pack carburizing* terhadap nilai kekerasan paduan *as-cast* CoCrMo, serta untuk mengetahui proses dan variasi yang lebih mempengaruhi nilai kekerasan *as-cast* CoCrMo. Penelitian kali ini dilakukan dengan dua metode proses yang berbeda, yaitu *pack carbonitriding* dan *pack carburizing*. Proses *pack carbonitriding* dilakukan dengan komposisi media yaitu 40% karbon, 40% urea dan 20% *energizer* CaCO₃, dengan waktu tahan masing-masing 1, 2, dan 3 jam dan temperatur proses sebesar 500° C dan 600° C. Proses *pack carburizing* dilakukan dengan komposisi media yaitu 80% karbon dan 20% *energizer* CaCO₃. Spesimen *as-cast* CoCrMo yang telah diproses akan dilakukan pengujian kekerasan dan pengamatan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik. Hasil pengujian kekerasan pada spesimen *as-cast* CoCrMo menunjukkan bahwa temperatur proses, waktu proses, dan metode yang digunakan mempengaruhi nilai kekerasan *as-cast* CoCrMo, dimana nilai kekerasan tertinggi pada spesimen dengan perlakuan *pack carbonitriding* terdapat pada spesimen yang diproses dengan temperatur 500° C pada waktu tahan selama 3 jam yaitu sebesar 301,06 VHN. Sedangkan pada spesimen dengan perlakuan *pack carburizing* memiliki nilai kekerasan tertinggi pada temperatur 600° C pada waktu tahan selama 1 jam yaitu sebesar 286,16 VHN. Sehingga dapat diketahui bahwa metode *pack carbonitriding* lebih mampu meningkatkan nilai kekerasan permukaan spesimen *as-cast* CoCrMo.

Kata Kunci: *As-cast* CoCrMo, *Carbonitriding*, *Carburizing*, Waktu, Kekerasan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Waktu dan Temperatur Laku Permukaan Terhadap Nilai Kekerasan Paduan *As-cast* CoCrMo Untuk Aplikasi Implan”. Saya selaku penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang berperan penting dalam penyelesaian skripsi ini, yaitu:

1. Bapak Abdul Azis, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Bapak Prof. Alfirano, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktu dan tenaga dalam membimbing, memberi saran serta motivasi kepada penulis selama penelitian hingga skripsi ini selesai.
3. Ibu Dr. Indah Uswatun Hasanah, S.Si., M.T selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan serta arahan sehingga skripsi ini dapat selesai.
4. Kedua orang tua, Bapak Tamril dan Ibu Atik Hayati yang selalu mendukung penulis selama menyelesaikan penulisan skripsi ini.
5. Seluruh dosen dan staff jurusan Teknik Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah membimbing dan membantu penulis selama berkuliah hingga saat ini.
6. Teman-teman Teknik Metalurgi 2017 yang telah menemani,

memberikan saran serta semangat selama perkuliahan sampai skripsi ini selesai.

7. Serta semua pihak terkait yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu saya selama menyelesaikan skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih.

Cilegon, 11 Juli 2024

Fitria Ramadayanti

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Masalah	7
1.5 Sistematika Penulisan	8
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Implan Tulang	9
2.2 Paduan CoCrMo	12
2.3 <i>Surface Treatment</i>	16
2.4 <i>Pack Carbonitriding</i>	17
2.5 <i>Pack Carburizing</i>	20
2.6 Difusi Karbon dan Nitrogen	23

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Penelitian	27
3.2	Alat dan Bahan	28
3.2.1	Alat yang Digunakan	28
3.2.2	Bahan yang Digunakan	29
3.3	Prosedur Penelitian	29
3.3.1	Preparasi Spesimen	29
3.3.2	Pengujian Kekerasan Awal Spesimen	32
3.3.3	<i>Pack Carbonitriding</i>	33
3.3.4	<i>Pack Carburizing</i>	33
3.3.5	Karakteristik Mikroskop Optik	34
3.3.6	Pengujian Kekerasan Spesimen	35

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Analisa Hasil Pengujian Kekerasan Awal	36
4.2	Analisa Pengaruh Waktu dan Temperatur <i>Pack Carbonitriding</i> Terhadap Nilai Kekerasan	37
4.3	Analisa Pengaruh Waktu dan Temperatur <i>Pack Carburizing</i> Terhadap Nilai Kekerasan	44
4.4	Analisa Pengaruh Metode <i>Surface Treatment</i> Terhadap Nilai Kekerasan	51

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	54
5.2	Saran	55

DAFTAR PUSTAKA	57
-----------------------------	----

LAMPIRAN	63
-----------------------	----

Lampiran A. Perhitungan	63
Lampiran B. Data Hasil Percobaan	67
Lampiran C. Gambar Alat dan Bahan	83

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Mekanik Logam Biomaterial dan Tulang 10
Tabel 2.2	Komposisi Kimia Paduan Kobalt-Kromium 14
Tabel 2.3	Sifat Mekanik Paduan ASTM F75 15
Tabel 2.4	Perbandingan Metode <i>Carburizing</i> 21
Tabel 3.1	Komposisi Kimia <i>as-cast</i> CoCrMo 30
Tabel 3.2	Kode Spesimen Penelitian 32
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Kekerasan Awal Spesimen 37
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen <i>Pack Carbonitriding</i> 1 Jam 38
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen <i>Pack Carbonitriding</i> 2 Jam 38
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen <i>Pack Carbonitriding</i> 3 Jam 38
Tabel 4.5	Hasil Pengujian Kedalaman Difusi Hasil <i>Pack Carbonitriding</i> 43
Tabel 4.6	Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen <i>Pack Carburizing</i> 1 Jam .. 45
Tabel 4.7	Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen <i>Pack Carburizing</i> 2 Jam .. 45
Tabel 4.8	Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen <i>Pack Carburizing</i> 3 Jam .. 45
Tabel 4.9	Hasil Pengujian Kedalaman Difusi Hasil <i>Pack Carburizing</i> 50
Tabel B.1	Nilai Kekerasan Awal Spesimen 68
Tabel B.2	Nilai Kekerasan Spesimen <i>Pack Carbonitriding</i> 81
Tabel B.3	Nilai Kekerasan Spesimen <i>Pack Carburizing</i> 81

Tabel B.4	Hasil Pengujian Kedalaman Difusi Spesimen	82
------------------	---	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1	Pengganti Sendi Pinggul dari Paduan CoCrMo 12
Gambar 2.2	Diagram Fasa Biner Co-Cr 13
Gambar 2.3	Kekerasan Spesimen Setelah Perlakuan dan Sebelum Perlakuan 18
Gambar 2.4	Skema Proses <i>Pack Carbonitriding</i> 19
Gambar 2.5	Kekerasan Permukaan CoCrMo Sebelum dan Sesudah <i>Carburizing</i> 22
Gambar 2.6	Skema Proses <i>Pack Carburizing</i> 23
Gambar 2.7	Skema Difusi (a) Substitusi, (b) Interstisi 24
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian 28
Gambar 3.2	Skema Spesimen 30
Gambar 3.3	Skema Spesimen Dalam Wadah 31
Gambar 3.4	Garis Perpotongan Spesimen 34
Gambar 4.1	Kekerasan Permukaan Spesimen <i>Pack Carbonitriding</i> 39
Gambar 4.2	Struktur Mikro CoCrMo <i>Carbonitriding</i> Pada Temperatur 500° C (a) 1 Jam (b) 2 Jam (c) 3 Jam 41
Gambar 4.3	Struktur Mikro CoCrMo <i>Carbonitriding</i> Pada Temperatur 600° C (a) 1 Jam (b) 2 Jam (c) 3 Jam 42
Gambar 4.4	Kekerasan Permukaan Spesimen <i>Pack Carburizing</i> 46
Gambar 4.5	Struktur Mikro CoCrMo <i>Carburizing</i> Pada Temperatur 500° C (a) 1 Jam (b) 2 Jam (c) 3 Jam 48
Gambar 4.6	Struktur Mikro CoCrMo <i>Carburizing</i> Pada Temperatur 600° C (a)

	1 Jam (b) 2 Jam (c) 3 Jam	49
Gambar 4.7	Pengujian Kekerasan Permukaan Spesimen CoCrMo	52
Gambar B.1	Hasil Pengujian Kekerasan Awal	68
Gambar B.2	Struktur Mikro Spesimen 5C1 Perbesaran 20x	69
Gambar B.3	Hasil Pengamatan Lapisan Difusi Spesimen 5C1	69
Gambar B.4	Struktur Mikro Spesimen 5C2 Perbesaran 20x	70
Gambar B.5	Hasil Pengamatan Lapisan Difusi Spesimen 5C2	70
Gambar B.6	Struktur Mikro Spesimen 5C3 Perbesaran 20x	71
Gambar B.7	Hasil Pengamatan Lapisan Difusi Spesimen 5C3	71
Gambar B.8	Struktur Mikro Spesimen 5CN1 Perbesaran 20x	72
Gambar B.9	Hasil Pengamatan Lapisan Difusi Spesimen 5CN1	72
Gambar B.10	Struktur Mikro Spesimen 5CN2 Perbesaran 20x	73
Gambar B.11	Hasil Pengamatan Lapisan Difusi Spesimen 5CN2	73
Gambar B.12	Struktur Mikro Spesimen 5CN3 Perbesaran 20x	74
Gambar B.13	Hasil Pengamatan Lapisan Difusi Spesimen 5CN3	74
Gambar B.14	Struktur Mikro Spesimen 6C1 Perbesaran 20x	75
Gambar B.15	Hasil Pengamatan Lapisan Difusi Spesimen 6C1	75
Gambar B.16	Struktur Mikro Spesimen 6C2 Perbesaran 20x	76
Gambar B.17	Hasil Pengamatan Lapisan Difusi Spesimen 6C2	76
Gambar B.18	Struktur Mikro Spesimen 6C3 Perbesaran 10x	77
Gambar B.19	Hasil Pengamatan Lapisan Difusi Spesimen 6C3	77
Gambar B.20	Struktur Mikro Spesimen 6CN Perbesaran 20x	78
Gambar B.21	Hasil Pengamatan Lapisan Difusi Spesimen 6CN1	78

Gambar B.22	Struktur Mikro Spesimen 6CN2 Perbesaran 20x	79
Gambar B.23	Hasil Pengamatan Lapisan Difusi Spesimen 6CN2	79
Gambar B.24	Struktur Mikro Spesimen 6CN3 Perbesaran 20x	80
Gambar B.25	Hasil Pengamatan Lapisan Difusi Spesimen 6CN3	80
Gambar C.1	<i>Muffle Furnace</i>	84
Gambar C.2	<i>Cutting Machine</i>	84
Gambar C.3	Mikroskop Optik	84
Gambar C.4	Mesin <i>Grinding</i> dan <i>Polishing</i>	84
Gambar C.5	Mesin <i>Mounting</i>	84
Gambar C.6	Mesin Kekerasan <i>Micro-Vickers</i>	84
Gambar C.7	Amplas <i>Grid</i>	84
Gambar C.8	Gelas <i>Beaker</i>	84
Gambar C.9	Pupuk Urea	85
Gambar C.10	Labu Ukur	85
Gambar C.11	Gelas Ukur	85
Gambar C.12	Neraca Digital	85
Gambar C.13	<i>Hair Dryer</i>	85
Gambar C.14	Wadah Media Pendingin	85
Gambar C.15	Bubuk Karbon	85
Gambar C.16	Kalsium Karbonat	85
Gambar C.17	Spesimen CoCrMo	86
Gambar C.18	Larutan Metanol	86

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada dekade terakhir, adanya peningkatan harapan hidup, trauma, tumor dan penyakit tulang lainnya meningkatkan jumlah operasi ortopedi, sehingga menuntut implan dengan tingkat biokompatibilitas, sifat mekanik, dan sifat permukaan yang baik [1]. Terjadi peningkatan angka harapan hidup dari 63,60 tahun pada 1940, ketika implan ortopedi pertama dipasang, menjadi 81,65 tahun pada 2022 [2]. Bahan yang digunakan untuk implan ortopedi, khususnya dalam aplikasi *load-bearing* harus memiliki sifat biokompatibilitas, ketahanan terhadap korosi pada tubuh, kombinasi *strength* yang tinggi dan modulus yang rendah, ketahanan lelah dan aus yang baik, keuletan yang tinggi, dan tidak beracun [3]. Bahan implan yang digunakan bergantung pada aplikasi dan dapat dikategorikan sebagai polimer, logam, keramik, atau komposit. Logam cenderung memiliki ketahanan aus dan benturan yang tinggi serta digunakan dalam aplikasi seperti staples, pengganti sendi, dan implan gigi [4].

Secara umum, logam yang dapat digunakan aplikasi biomedis harus menunjukkan sifat-sifat, seperti ketahanan korosi yang tinggi, biokompatibilitas, ketahanan aus yang tinggi, dan sifat mekanik yang sangat baik. Beberapa logam yang paling banyak digunakan adalah *stainless steel*, paduan kobalt-kromium, dan paduan titanium [5]. Paduan kobalt memiliki beberapa keunggulan, diantaranya

memiliki ketahanan korosi dalam larutan biologis lebih baik daripada *stainless steel*, ketahanan ausnya lebih unggul daripada *stainless steel* dan paduan titanium, serta reaksi alergi yang lebih rendah daripada *stainless steel* [6]. Secara umum, paduan kobalt digunakan dalam aplikasi lingkungan di bawah kondisi ekstrem karena memiliki ketahanan korosi dan ketahanan aus yang baik, serta memiliki kekuatan tinggi pada temperatur yang tinggi [7]. Diantara paduan kobalt, CoNiCrMo (ASTM F562) dan CoCrMo (ASTM F75 dan F76) umumnya digunakan untuk aplikasi implanasi [8].

Paduan CoCrMo telah digunakan dalam bidang ortopedi, terutama sebagai bahan implan pada sendi gesekan pinggul dan lutut, dengan kekerasan, elastisitas, ketahanan aus, dan biokompatibilitas yang baik [9]. Ketika paduan ini sengaja ditanamkan ke dalam tubuh manusia, kehadirannya tidak akan ditolak oleh tubuh atau menyebabkan reaksi alergi bagi tubuh itu sendiri [10]. Sebagai salah satu paduan kobalt, *as-cast* CoCrMo adalah salah satu biomaterial yang paling diterima dalam pembuatan implan atau prostesis [11]. Namun, beberapa penelitian menunjukkan bahwa paduan CoCrMo menghasilkan jumlah partikel aus halus yang jauh lebih tinggi yang memicu respons imun inflamasi yang dianggap terkait dengan kegagalan implan [12][13].

Paduan CoCrMo (ASTM F75) merupakan salah satu paduan terpenting dalam aplikasi ortopedi. Paduan yang mengandung karbon ini adalah logam pilihan untuk permukaan sendi pengganti pinggul dan lutut karena memiliki ketahanan aus yang sangat baik, kekerasan tinggi, dan ketahanan korosi [14][15]. ASTM F75 memiliki nilai kekerasan sebesar 266-345 HV. Menurut Turkan *et al.*, uji *in vivo* paduan CoCrMo menunjukkan pelepasan ion Co, Cr, dan Mo [16]. Oleh karena itu

dibutuhkan material yang dapat mencegah pelepasan ion-ion tersebut, seperti ion nitrogen dan ion karbon yang dapat dilakukan dengan cara *surface treatment*.

Surface hardening atau *surface treatment* merupakan suatu proses untuk meningkatkan sifat kekerasan dan kinerja suatu material. Kerusakan material biasanya dimulai dari adanya cacat pada permukaan material akibat pengaruh faktor lingkungan seperti korosi atau keausan akibat interaksi dengan komponen lain. *Surface treatment* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu penambahan unsur kimia lain ke dalam komposisi material atau dapat juga dengan cara mengubah fasa atau struktur kristal yang terkandung dalam material [17]. Dalam paduan CoCrMo, nitrogen adalah salah satu unsur yang digunakan untuk meningkatkan sifat mampu bentuk dan sifat mekanis paduan. Sedangkan karbon dalam paduan CoCrMo adalah unsur yang mampu meningkatkan sifat mekanis dan ketahanan korosi paduan, tetapi dapat menyebabkan paduan menjadi getas [18].

Dalam penelitian ini dilakukan dengan *surface treatment* terhadap paduan CoCrMo (ASTM F75) dengan teknik *pack carbonitriding* dan *pack carburizing*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan permukaan dari paduan CoCrMo (ASTM F75), setelah dilakukan *surface treatment* dengan metode tersebut, serta mengetahui parameter waktu proses dan temperatur pada kedua proses untuk meningkatkan nilai kekerasan pada paduan CoCrMo (ASTM F75). *Carbonitriding* merupakan suatu proses pengerasan permukaan dimana material dipanaskan di atas temperatur kritis dalam media gas dan karbon serta nitrogen diserap ke dalam material [16]. Apabila dibandingkan dengan proses *nitriding*, proses *carbonitriding* memiliki laju proses dan waktu lebih pendek, sehingga waktu proses akan lebih cepat dan dapat mengurangi biaya untuk melakukan *surface*

treatment. Kelebihan *carbonitriding* dibandingkan dengan *carburizing* yaitu distorsi yang terjadi lebih rendah serta karbon dan nitrogen bebas yang terbentuk akan berdifusi ke permukaan material kemudian bereaksi. Lapisan hasil *carbonitriding* lebih tahan terhadap pelunakan saat tempering jika dibandingkan hasil lapisan *carburizing* dan nilai kekerasan yang ditingkatkan dengan proses *carbonitriding* hampir sama dengan nilai kekerasan hasil proses *carburizing* [19]. Hal tersebut membuat kedua proses itu dipilih pada penelitian ini.

Pada penelitian sebelumnya oleh R. Liu *et al*, proses *carbonitriding* meningkatkan nilai kekerasan CoCrMo dengan pesat. Kekerasan spesimen yang dilakukan proses *carbonitriding* mencapai puncak kekerasan tertinggi pada temperatur 350° C selama 20 jam dengan nilai kekerasan sebesar 18 GPa, namun pada temperatur 400° C mengalami penurunan. Setelah proses *carbonitriding*, spesimen dilakukan pengujian ketahanan aus dan didapatkan hasil bahwa keausan abrasif paduan CoCrMo berkurang seiring dengan meningkatnya kekerasan permukaan karena terjadi pembentukan lapisan *S-phase* nitrogen, nitrogen dan karbon yang sangat keras selama perlakuan permukaan plasma. Hal tersebut dapat menunjukkan bahwa proses *carbonitriding* dapat meningkatkan nilai kekerasan material. Nilai kekerasan yang meningkat juga berkaitan dengan nilai ketahanan aus yang ikut meningkat [20]. Namun pada penelitian tersebut memerlukan peralatan dan teknologi yang canggih untuk melakukan *plasma carbonitriding*, maka diperlukan penelitian dengan menggunakan metode lain seperti *pack carbonitriding* yang memiliki proses, teknologi serta peralatan yang lebih sederhana di masa yang akan datang.

Pada penelitian sebelumnya oleh Cassar *et al*, *carburizing* menghasilkan

lapisan difusi dengan kandungan interstisial karbon sebesar 25 at% pada permukaan paduan CoCrMo, kemudian menurun menjadi 20 at% pada kedalaman 0,5 μm hingga 0,2 at% pada kedalaman 10,5 μm . Kekerasan lapisan juga semakin menurun dari $862 \pm 5 \text{ HV}_{0,2}$ pada permukaan menjadi $473 \pm 3 \text{ HV}_{0,2}$ pada substrat di kedalaman 10,5 μm . Namun, jika melihat nilai kekerasan permukaan specimen, terjadi peningkatan antara sebelum dan sesudah *carburizing* [21].

Pada penelitian lainnya oleh Dong Y. *et al* juga menunjukkan nilai kekerasan permukaan CoCrMo yang telah dilakukan *carburizing* mengalami peningkatan dari 5 GPa pada specimen yang belum diproses menjadi 16 GPa setelah specimen dilakukan *carburizing*. Peningkatan kekerasan tersebut berperan penting dalam mengurangi kerusakan abrasi *dimples* selama *sliding wear*. Keunggulan lainnya yaitu permukaan yang dilakukan pengerasan akan mengurangi pelepasan partikel logam sehingga dapat mengurangi risiko hipersensitivitas logam [22]. Namun dari kedua penelitian mengenai *carburizing* tersebut proses tidak dilakukan dengan variasi temperatur serta waktu tahan, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh temperatur dan waktu tahan untuk dapat mengetahui bagaimana hasil proses *carburizing* tersebut pada nilai kekerasan paduan CoCrMo. Metode lain seperti *pack carburizing* juga perlu diteliti lebih lanjut untuk efisiensi biaya proses yang lebih rendah jika dibandingkan dengan *plasma carburizing*.

Berdasarkan uraian di atas, diperlukan penelitian lebih lanjut tentang paduan *as-cast* CoCr-Mo dengan pelapisan permukaan yaitu *carbonitriding* dan *carburizing*, terutama dengan metode *pack carbonitriding* dan *pack carburizing*. Akan dianalisa pengaruh variasi temperatur dan waktu proses pada kedua metode tersebut pada *as-cast* CoCrMo yang digunakan untuk mengetahui pengaruhnya

terhadap nilai kekerasan *as-cast* CoCrMo. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan temperatur 500° dan 600° C, dan menggunakan variasi waktu selama 1 jam, 2 jam, dan 3 jam. Komposisi media yang digunakan untuk *pack carbonitriding* yaitu dengan persentase 40% urea, 40% karbon, dan 20% *energizer*. Sedangkan untuk *pack carburizing* persentase yang digunakan yaitu 80% karbon dan 20% *energizer*. *Energizer* yang digunakan yaitu CaCO₃.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka permasalahan yang akan diteliti pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh temperatur pada proses *pack carbonitriding* dan *pack carburizing* terhadap kekerasan paduan CoCrMo?
2. Bagaimana pengaruh waktu tahan pada proses *pack carbonitriding* dan *pack carburizing* terhadap kekerasan paduan CoCrMo?
3. Metode serta variasi apa yang memiliki pengaruh paling signifikan terhadap kekerasan paduan CoCrMo?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui laku permukaan yang memiliki pengaruh paling signifikan pada paduan CoCrMo. Adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh temperatur pada proses *pack carbonitriding* dan *pack carburizing* terhadap kekerasan paduan CoCrMo.
2. Mengetahui pengaruh waktu tahan pada proses *pack carbonitriding* dan

pack carburizing terhadap kekerasan paduan CoCrMo.

3. Mengetahui proses dan variasi yang paling mempengaruhi kekerasan paduan CoCrMo.

1.4 Batasan Masalah

Adapun ruang lingkup yang digunakan sebagai batasan-batasan penelitian yang akan dilakukan antara lain:

1. Spesimen CoCrMo yang digunakan adalah *as-cast* CoCrMo.
2. Melakukan proses *pack carbonitriding* dan *pack carburizing* dengan variasi temperatur sebesar 500°C dan 600°C.
3. Melakukan proses *pack carbonitriding* dan *pack carburizing* dengan variasi waktu sebesar 1 jam, 2 jam, dan 3 jam.
4. Proses *pack carbonitriding* dilakukan dengan persentase komposisi media yang digunakan yaitu 40% pupuk urea, 40% karbon, dan 20% *energizer*.
5. Proses *pack carburizing* dilakukan dengan persentase komposisi media yang digunakan yaitu 80% karbon dan 20% *energizer*.
6. *Energizer* yang digunakan adalah CaCO₃.
7. Melakukan pengujian kekerasan permukaan dengan *Vickers Microhardness Test*.
8. Melakukan karakterisasi spesimen dengan menggunakan Mikroskop Optik.
9. Penelitian dilakukan di Laboratorium Metalurgi dan Laboratorium Manufaktur Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari lima bab. Bab I menjelaskan tentang latar belakang penelitian mengenai paduan *as-cast* CoCrMo, rumusan masalah yang merupakan dasar penelitian ini, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan. Bab II berisi tentang teori-teori terkait penelitian ini, yaitu implan tulang secara umum, paduan CoCrMo, *surface treatment* yang terdiri diantaranya adalah *pack carbonitriding* dan *pack carburizing*, serta difusi Nitrogen dan Karbon. Bab III berisi metodologi penelitian yang digambarkan dengan diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan selama penelitian, serta prosedur untuk melakukan penelitian ini. Bab IV menyajikan hasil dan pembahasan terkait penelitian yang telah dilakukan. Bab V berisi tentang kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan. Selain itu terdapat Daftar Pustaka yang berisi referensi yang digunakan untuk penyusunan skripsi ini, serta lampiran terkait penelitian yang telah dilakukan seperti lampiran perhitungan, data hasil penelitian, serta gambar alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. L. Jardini *et al.*, “Cranial reconstruction: 3D biomodel and custom-built implant created using additive manufacturing,” *J. Cranio-Maxillofacial Surg.*, vol. 42, no. 8, pp. 1877–1884, 2014, doi: 10.1016/j.jcms.2014.07.006.
- [2] M. Mears, P. Brindley, I. Baxter, R. Maheswaran, and A. Jorgensen, “Neighbourhood greenspace influences on childhood obesity in Sheffield, UK,” *Pediatr. Obes.*, vol. 15, no. 7, pp. 1–11, 2020, doi: 10.1111/ijpo.12629.
- [3] M. Geetha, A. K. Singh, R. Asokamani, and A. K. Gogia, “Ti based biomaterials, the ultimate choice for orthopaedic implants - A review,” *Prog. Mater. Sci.*, vol. 54, no. 3, pp. 397–425, 2009, doi: 10.1016/j.pmatsci.2008.06.004.
- [4] A. J. Festas, A. Ramos, and J. P. Davim, “Medical devices biomaterials – A review,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part L J. Mater. Des. Appl.*, vol. 234, no. 1, pp. 218–228, 2020, doi: 10.1177/1464420719882458.
- [5] C. M. Agrawal, J. L. Ong, M. R. Appleford, and G. Mani, *Introduction to Biomaterials: Basic Theory with Engineering Applications*. in Cambridge Texts in Biomedical Engineering. Cambridge University Press, 2014. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=hTRaAQAAQBAJ>
- [6] C. Valero-Vidal, L. Casabn-Julín, I. Herraiz-Cardona, and A. Igual-Muñoz, “Influence of carbides and microstructure of CoCrMo alloys on their metallic dissolution resistance,” *Mater. Sci. Eng. C*, vol. 33, no. 8, pp. 4667–4676, Dec. 2013, doi: 10.1016/j.msec.2013.07.041.
- [7] D. A. Prihantoko, “Characterization of CoCrMo alloy with titanium nitride and hydroxyapatite-chitosan coating,” 2011, [Online]. Available: <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/51457>
- [8] M. B. Nasab and M. R. Hassan, “Metallic Biomaterials of Knee and Hip-A Review,” 2010. [Online]. Available: <http://www.sbaoi.org>

- [9] S. Hidayatullah and F. Rokhmanto, "Struktur Mikro dan Sifat Mekanis Paduan Co-Cr-Mo," in *3rd Biomaterial Conference 2015*, Jakarta, 2020, pp. 0–7. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/342330662>
- [10] Alfirano, "Analisis Deformasi Paduan Co-Cr-Mo Sebagai Material Implant," *J. Transm.*, vol. 4, no. 2, pp. 427–440, 2008.
- [11] B. Kaya, S. Yilmaz, and C. Ergun, "Ion nitriding of CoCrMo alloys," *Defect Diffus. Forum*, vol. 297–301, pp. 82–87, 2010, doi: 10.4028/www.scientific.net/DDF.297-301.82.
- [12] S. Mischler and A. I. Muñoz, "Wear of CoCrMo alloys used in metal-on-metal hip joints: A tribocorrosion appraisal," *Wear*, vol. 297, no. 1–2, pp. 1081–1094, 2013, doi: 10.1016/j.wear.2012.11.061.
- [13] M. A. Koronfel *et al.*, "Understanding the reactivity of CoCrMo-implant wear particles," *npj Mater. Degrad.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2018, doi: 10.1038/s41529-018-0029-2.
- [14] J. Black, *Biological performance of materials: fundamentals of biocompatibility*. Crc Press, 2005.
- [15] I. Milošev and H. H. Strehblow, "The composition of the surface passive film formed on CoCrMo alloy in simulated physiological solution," *Electrochim. Acta*, vol. 48, no. 19, pp. 2767–2774, 2003, doi: 10.1016/S0013-4686(03)00396-7.
- [16] O. Öztürk, U.  ur T rkan, and A. E. Ero lu, "Metal ion release from nitrogen ion implanted CoCrMo orthopedic implant material," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 200, no. 20–21, pp. 5687–5697, 2006, doi: 10.1016/j.surfcoat.2005.08.113.
- [17] P. Puspitasari, A. Andoko, H. Suryanto, P. Risdanareni, and S. Yudha, "Hardness improvement on low carbon steel using pack carbonitriding method with holding time variation," *MATEC Web Conf.*, vol. 101, no. SICEST 2016, p. 01012, Mar. 2017, doi: 10.1051/mateconf/201710101012.

- [18] F. Rokhmanto, C. Sutowo, and I. Kartika, "Influence Of Carbon and Nitrogen Addition On The Corrosion Resistance Of Co-28Cr-6Mo-0,8Si-0,8Mn-0,4Fe-0,2Ni Alloys," *Widyariset*, vol. 4, no. 1, p. 1, May 2018, doi: 10.14203/widyariset.4.1.2018.1-8.
- [19] A. International, "ASM International Handbook Vol. 4 Heat Treating," 1991.
- [20] R. Liu, X. Li, X. Hu, and H. Dong, "Surface modification of a medical grade Co-Cr-Mo alloy by low-temperature plasma surface alloying with nitrogen and carbon," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 232, pp. 906–911, Oct. 2013, doi: 10.1016/j.surfcoat.2013.06.122.
- [21] J. Cassar, B. Mallia, A. Karl, and J. Buhagiar, "EIS of carburised CoCrMo: Evolution of parameters characterising the metal-electrolyte interface," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 292, pp. 90–98, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.surfcoat.2016.03.033.
- [22] Y. Dong *et al.*, "Towards near-permanent CoCrMo prosthesis surface by combining micro-texturing and low temperature plasma carburising," *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.*, vol. 55, pp. 215–227, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.jmbbm.2015.10.023.
- [23] E. Kaivosoja *et al.*, "Materials used for hip and knee implants," in *Wear of Orthopaedic Implants and Artificial Joints*, Elsevier, 2013, pp. 178–218. doi: 10.1533/9780857096128.1.178.
- [24] D. R. Unune, G. R. Brown, and G. C. Reilly, "Thermal based surface modification techniques for enhancing the corrosion and wear resistance of metallic implants: A review," *Vacuum*, vol. 203. Elsevier Ltd, Sep. 01, 2022. doi: 10.1016/j.vacuum.2022.111298.
- [25] E. Bettini, *Influence of carbides and nitrides on corrosion initiation of advanced alloys: A local probing study*. 2013. [Online]. Available: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:651807>
- [26] T. Narushima, K. Ueda, and Alfirano, "Co-Cr Alloys as Effective Metallic Biomaterials," 2015, pp. 157–178. doi: 10.1007/978-3-662-46836-4_3.

- [27] B. Mandeep Chauhan and F. Bahbou, "Microstructural characterization of cobalt chromium (ASTM F75) cubes produced by EBM technique Influence of carbon and nitrogen content as well as hot isostatic pressing," *Chalmers Univ. Technol.*, 2017.
- [28] S. G. S, A. W. P, I. Suparto, and S. Mariya, "Sintesis, Analisis Korosi dan Toksisitas Pada Material Biokompatibel Co-CrMo," *Maj. Metal.* V, vol. 25, pp. 163–168, 2010.
- [29] J. R. Davis, *Surface hardening of steels: understanding the basics*. ASM international, 2002. [Online]. Available: https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=eIfcHJtv_kcC&oi=fnd&pg=PP1&dq=davis+2002+surface+hardening&ots=BvachFspgy&sig=XtCcMxi4657rhboD3EJRCfEeFvE&redir_esc=y#v=onepage&q=davis 2002 surface hardening&f=false
- [30] S. Sumiyanto and A. Abdunnaser, "Pengaruh Proses Carbonitriding Terhadap Material Dasar Bearing Suj2," *Bina Tek.*, vol. 13, no. 1, p. 29, 2017, doi: 10.54378/bt.v13i1.19.
- [31] W. Suherman, "Perlakuan Panas," *Diktat Jur. Tek. Mesin Fak. Teknol. Industri, ITS Surabaya*, 1998.
- [32] D. Satria *et al.*, "Pengaruh Waktu Tahan Proses Pack Carburizing Baja AISI 3115 dengan Menggunakan Calcium Carbonat dan Batubara Sub Bituminous dan Mendapatkan Perlakuan Panas Quenching Media Pendingin Air," *ROTASI*, vol. 21, no. 2, pp. 88–95, 2019.
- [33] R. Suratman, "Panduan Proses Perlakuan Panas," *Bandung Lemb. Penelit. Inst. Teknol. Bandung*, 1994.
- [34] M. I. Nurtaufik, "Pengaruh waktu pack carburizing terhadap tingkat kekerasan dan perubahan struktur micro pada poros dengan bahan baja vcn 150," *Univ. Negeri Semarang*, 2020, [Online]. Available: <https://lib.unnes.ac.id/42456/>
- [35] S. R. Elmi Hosseini and Z. Li, "Pack Carburizing: Characteristics, Microstructure, and Modeling," *Encycl. Iron, Steel, Their Alloy.*, no. April, pp. 1–24, 2016, doi: 10.1081/e-eisa-120051080.

- [36] F. C. Campbell, *Elements of metallurgy and engineering alloys*. ASM international, 2008. [Online]. Available: [https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=6VdROgeQ5M8C&oi=fnd&pg=PR1&dq=element+of+metallurgy&ots=V2ouoc3OeE&sig=h4F90KaMb69i59xSq9_nIwbmwY4&redir_esc=y#v=onepage&q=element of metallurgy&f=false](https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=6VdROgeQ5M8C&oi=fnd&pg=PR1&dq=element+of+metallurgy&ots=V2ouoc3OeE&sig=h4F90KaMb69i59xSq9_nIwbmwY4&redir_esc=y#v=onepage&q=element+of+metallurgy&f=false)
- [37] B. Kuswanto, “Pengaruh Perbedaan Ukuran Butir Arang Tempurung Kelapa-Barium Karbonat terhadap Peningkatan Kekerasan Permukaan Material Baja ST 37 dengan Proses Pack Carburizing,” *Univ. Diponegoro*, 2010.
- [38] T. Suger, G. Permana, and U. Rumendi, “Analisa Uji Keausan Material St 37 Hasil Carburizing dan Hardening Dengan Menggunakan Mesin Uji Keausan Horizontal,” *STEMAN*, pp. 2–6, 2014.
- [39] H. Amanto and Daryanto, *Ilmu Bahan*. Jakarta: PT. Bumi Aksara, 2003.
- [40] D. N. K. P. Negara and I. D. M. K. Muku, “Pack Carburizing Baja Karbon Rendah,” *J. Energi dan Manufaktur*, vol. 7, no. 1, pp. 111–230, 2015.
- [41] K. G. Budinski and M. K. Budinski, *Engineering Materials: Properties and Selection*. Prentice Hall, 2010. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=rK1BPgAACAAJ>
- [42] M. Nurhilal, “Pengaruh Temperatur, Holding Time Proses Pack Carburizing Baja Karbon Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik,” *J. Teknol.*, vol. 10, no. 1, pp. 153–162, 2017.
- [43] S. Gunawan, “Efek Waktu Tahan Pack Carburizing Terhadap Kekerasan dan Keausan Nosel Imitasi Truk Barang,” *J. Penelit. Inov.*, vol. 1, no. 2, pp. 193–200, Jan. 2022, doi: 10.54082/jupin.44.
- [44] A. Schonmetz and K. Gruber, *Pengetahuan bahan dalam pengerjaan logam: pengerjaan benda-benda setengah jadi pengertian dasar kimia, pengertian dasar fisik*. Angkasa, Bandung, 1985.

- [45] W. D. Callister Jr and D. G. Rethwisch, *Characteristics, Application, and Processing of Polymers*. 2003. [Online]. Available: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polypropylene-pp-plastic>
- [46] N. P. Sari, “Nitridasi Pada Paduan Berbasis FeCrNi Sebagai Kandidat Bahan Struktut Reaktor Guna Meningkatkan Ketahanan Korosi Temperatur Tinggi,” *Univ. Sebel. Maret*, 2011.
- [47] A. Nurharyanto, “Pengaruh Media Carburizing Arang Sekam Padi dan Arang Tempurung Kelapa Terhadap Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah,” *Univ. Sebel. Maret*, 2009.
- [48] Y. Purba, “Pengaruh Variasi Holding Time dan Carburizer Baja Karbon Rendah Proses Pack Carburizing Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Untuk Aplikasi Dodos,” *Univ. Sultan Ageng Tirtayasa*, 2023.
- [49] T. Narushima, S. Mineta, Y. Kurihara, and K. Ueda, “Precipitates in biomedical Co-Cr alloys,” *Jom*, vol. 65, no. 4, pp. 489–504, 2013, doi: 10.1007/s11837-013-0567-6.
- [50] S. Mineta, Alfirano, S. Namba, T. Yoneda, K. Ueda, and T. Narushima, “Precipitates in biomedical Co-28Cr-6Mo-(0-0.41)C alloys heat-treated at 1473 K to 1623 K (1200 C to 1350 C),” *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.*, vol. 43, no. 9, pp. 3351–3358, 2012, doi: 10.1007/s11661-012-1142-4.