

PERBAIKAN SIFAT MEKANIK DODOS KELAPA SAWIT PRODUK LOKAL MELALUI PROSES PACK CARBURIZING DAN MODIFIED MARTEMPERING

Yunaidi

Tenaga Pengajar (Dosen)
Politeknik LPP Yogyakarta
Program Studi Teknologi Mesin
ynd@polteklpp.ac.id

This paper aims to enhance the quality and service life of local product oil palm harvesting chisels so that they can compete with imported products, which until now are mostly used by oil palm harvesters in Indonesia. To achieve these objectives, the method of improving the mechanical properties of chisels was chosen through the pack carburizing and modified martempering processes. Chisels of local products can be improved in quality, especially their hardness and impact strength through the modified martempering or pack carburizing heat treatment process followed by modified martempering. Heat treatment of modified martempering at an oil cooling temperature of 125^o C followed by tempering at a temperature of 450^o C can increase the impact strength of chisels up to 12% higher than chisels without heat treatment, while its hardness can increase up to 29%. Heat treatment of pack carburizing followed by modified martempering at an oil cooling temperature of 175^o C and tempering at a temperature of 450^o C can increase the impact strength up to 65% and the hardness increases up to 27%.

Keywords: Oil Palm Harvesting Chisels, Mechanical Properties of Chisels, Pack Carburizing, Modified Martempering, Tempering.

1. PENDAHULUAN

Sebagian besar kegiatan panen buah kelapa sawit di Indonesia saat ini masih dilakukan secara manual dan mengandalkan tenaga manusia dengan peralatan panen seperti dodos, egrek, kampak, dan sebagainya. Peralatan panen ini memiliki peran yang sangat vital kegunaannya dan keberadaannya sebagai penunjang kegiatan panen kelapa sawit. Di sisi lain permasalahan yang sering timbul di lapangan dalam kegiatan proses panen ini adalah alat potong panen sering mengalami kerusakan (tumpul atau patah) karena kualitas yang kurang baik, sehingga para pemanen harus mengeluarkan biaya lebih untuk membeli alat panen baru atau membeli alat panen dengan kualitas yang lebih baik dengan harga yang lebih mahal [1].

Dodos adalah alat panen buah kelapa sawit yang digunakan untuk memanen buah kelapa sawit dengan usia pohon kurang dari 8 tahun atau tinggi pohon antara 2-5 meter [2], [3]. Dodos sudah diproduksi di Indonesia antara lain di Sumatera, Kalimantan, dan Jawa, namun ada juga produk impor terutama dari Malaysia dan Cina yang banyak diperjualbelikan di Indonesia, walaupun produk impor harganya relatif lebih mahal. Meskipun alat panen dodos sudah mempunyai standar SNI untuk menjaga kualitas produknya, namun secara umum kualitas produk lokal masih di bawah kualitas produk impor, terutama dalam hal kehandalan dan umur pakai produk lokal yang lebih pendek. Hal ini mengakibatkan jumlah produksi peralatan panen sawit lokal semakin lama semakin turun [4]. Sebagian besar pengusaha perkebunan sawit lebih menyukai produk dodos impor dibandingkan produk lokal sehingga kondisi ini dapat menurunkan produksi alat panen sawit lokal Indonesia. Padahal tidak semua dodos produk impor lebih baik kualitasnya dari dodos produk lokal.

Sebagian besar dodos yang dibuat menggunakan bahan dari baja pegas melalui proses penempaan hingga mencapai bentuk yang diinginkan. Setelah itu bagian mata atau ujung dodos dipanaskan dengan media arang pada temperatur tertentu kemudian didinginkan dengan cepat. Cara pembuatan tersebut belum dapat

menghasilkan dodos dengan kualitas yang optimal. Hal ini menjadi salah satu penyebab kualitas dan keawetan dodos yang dihasilkan tidak sebaik kualitas dodos yang dihasilkan oleh industri di negara lain.

Kualitas dodos ditentukan berdasarkan tingkat ketajaman, ketahanan ketajaman atau ketahanan aus, dan umur pakai alat potong tersebut. Tingkat ketajaman dan seberapa lama dodos tersebut mempertahankan ketajamannya (ketahanan aus) berkaitan dengan tingkat kekerasan dodos, sedangkan umur pakai biasanya dipengaruhi oleh perpaduan antara kekerasan, kekuatan, dan ketangguhan bahannya. Dodos harus mempunyai karakteristik perpaduan antara kekerasan dan ketangguhan yang optimal untuk mendapatkan kualitas yang diinginkan sehingga dapat digunakan untuk memotong batang dan buah kelapa sawit tanpa menyebabkan dodos mudah aus atau patah.

Sifat kekerasan dan ketangguhan suatu bahan memiliki hubungan yang saling bertolak belakang. Apabila suatu bahan memiliki kekerasan yang tinggi maka ketangguhan bahan tersebut cenderung turun, sedangkan apabila bahan mempunyai ketangguhan yang tinggi maka kekerasan bahan tersebut cenderung rendah. Oleh karena itu dibutuhkan perlakuan tertentu untuk mendapatkan tingkat kekerasan dan ketangguhan yang optimal, terutama kekerasan yang tinggi di permukaan atau bagian luar dodos, tetapi memiliki tingkat ketangguhan atau keuletan yang tinggi di bagian dalam dodos sehingga tidak mudah retak atau patah saat digunakan. Beberapa metode perlakuan panas dapat mempengaruhi seluruh struktur bahan dan sebagian metode lainnya hanya mempengaruhi struktur bagian luar seperti *carburizing* yang dapat digunakan untuk mendapatkan ketahanan aus yang lebih tinggi pada permukaannya dan bagian dalamnya masih bersifat ulet [5].

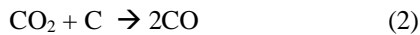
Carburizing adalah penambahan karbon pada permukaan baja pada temperatur antara 850° – 950°C, atau temperatur austenitisasi yang memiliki kelarutan karbon tinggi dan struktur kristal yang stabil. Proses pengerasan akan selesai saat lapisan permukaan dengan kadar karbon yang tinggi di-*quenching* dan atau didinginkan secara lambat lainnya disesuaikan dengan proses perlakuan panas yang akan diterapkan selanjutnya [6]. Baja yang telah mengalami proses ini akan memiliki permukaan luar struktur *martensit* karbon tinggi dengan ketahanan aus dan fatik yang baik sedangkan bagian dalam baja masih mempunyai ketangguhan dan ketahanan kejut yang baik [7].

Baja karburising yang digunakan pada pengerasan permukaan biasanya memiliki kandungan karbon antara 0.3% - 0.6%, dengan lapisan karburising antara 0.8% - 1.0% [8], [9]. Kandungan karbon pada permukaan baja umumnya dibatasi maksimal 0.9% karena kandungan karbon yang terlalu tinggi dapat menimbulkan struktur *retain austenit* dan *martensit* yang getas, sehingga menurunkan kekuatan baja secara keseluruhan [10].

Proses *carburizing* dapat dilakukan dengan 3 (tiga) media yang umum digunakan yaitu *pack carburizing* (media padat), *gas carburizing* (media gas), dan *liquid carburizing* (media cair). Disamping itu terdapat metode khusus dalam proses *carburizing* yaitu *plasma carburizing* dan *vacuum carburizing*. Masing-masing media yang dipakai dalam proses *carburizing* mempunyai keunggulan dan kekurangan serta karakteristik tertentu dalam proses pengerjaan dan aplikasinya [8], [9]. Keunggulan *pack carburizing* antara lain biaya yang murah, tidak membutuhkan *furnace* (tungku) khusus untuk proses *carburizing*, dan cocok untuk komponen berukuran kecil hingga sedang [7].

Pada proses *pack carburizing*, komponen yang akan di-*carburizing* diletakkan dalam kotak berisi media penambah unsur karbon (*carburizer*). Media tersebut dapat berupa bahan alam maupun limbah antara lain arang kayu, tempurung kelapa, arang sekam padi, arang batubara, maupun jenis arang kayu lainnya. Media *carburizing* yang biasanya berbentuk serpihan atau serbuk dan komponen yang akan diberi perlakuan *carburizing* tersebut diletakkan ke dalam kotak, kemudian dipanaskan pada suhu austenitisasi sehingga karbon yang terdapat dalam media karburasi akan terdifusi ke permukaan komponen.

Reaksi yang terjadi selama proses pemanasan dimulai dari reaksi oksigen yang terdapat dalam kotak *carburizer* dengan karbon pada suhu tinggi akan menghasilkan gas karbon dioksida (reaksi 1). Kemudian karbon dioksida akan bereaksi dengan karbon yang terdapat dalam kotak *carburizer* menghasilkan gas karbon monoksida (reaksi 2). Gas karbon monoksida ini adalah pembawa unsur karbon dan ketika mengalami kontak dengan besi *austenit* akan terurai menjadi atom karbon dan karbon dioksida (reaksi 3). Atom karbon akan secara cepat diserap pada permukaan logam dan menyatu di dalam logam membentuk karbida besi yang larut dalam *austenit*. Selanjutnya berdasarkan reaksi 2, karbon dioksida yang dihasilkan akan bereaksi dengan lebih banyak karbon dari media *carburizer* untuk menghasilkan lebih banyak lagi karbon monoksida dan sebagian akan menguap [11], [12]. Dengan demikian, setelah dipakai pada satu proses *pack carburizing*, unsur karbon dalam media *carburizer* akan berkurang. *Sementit* terbentuk di setiap permukaan baja (reaksi 4), dan karbon yang terdapat dalam *sementit* kemudian larut dalam *austenit* dan menyebar di dalamnya.

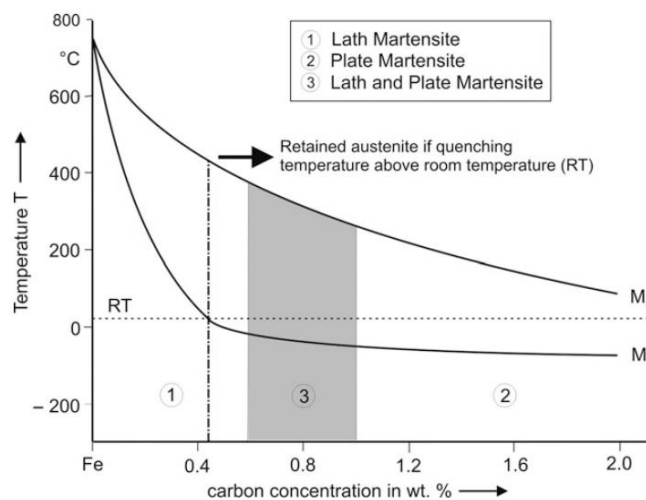


Terdapat beberapa penelitian tentang efek dari parameter proses *carburizing* maupun *quenching*, seperti sumber karbon dan parameter pada *pack carburizing*, temperatur *quenching*, waktu tahan (*holding time*), temperatur *tempering*, dan jenis media atau cairan pendingin *quenching* [13]–[18]. Pendinginan langsung (*direct quenching*) sejauh ini paling banyak digunakan dalam pendinginan baja dalam proses perlakuan panas, karena lebih murah dan mudah dilakukan. Proses ini biasanya menghasilkan tegangan sisa termal yang tinggi karena beberapa alasan, tetapi yang paling utama disebabkan karena laju pendinginan yang tidak seragam. Perbedaan laju pendinginan ini biasanya dipengaruhi oleh ukuran dan bentuk komponen. Semakin besar perbedaan temperatur antara dua titik pada komponen selama pendinginan dan semakin dekat kedua titik ini pada komponen, maka semakin besar tegangan sisa yang terjadi, oleh karena itu semakin buruk disain komponen tersebut [19].

Martempering adalah proses perlakuan panas dengan mencelupkan logam dari temperatur austenitisasi ke temperatur di atas *martensit start* (M_s), kemudian didinginkan pada media udara pada daerah rentang transformasi martensitik sampai ke suhu kamar [20]–[23]. Nilai M_s bisa ditentukan menggunakan eksperimen atau tanpa eksperimen. Bohemen [24] telah merumuskan nilai M_s berdasarkan komposisi kimia baja tanpa melakukan eksperimen. Pendinginan pada media udara pada rentang transformasi ini sangat penting karena pendinginan yang cepat (misal pada air atau oli dingin) dapat menimbulkan tegangan sisa, distorsi, atau retak pada logam sehingga akan meniadakan keunggulan proses ini [25].

Modified martempering (MM) adalah proses perlakuan panas yang hampir sama dengan *martempering* yang perbedaannya hanya terletak pada temperatur pencelupan (*quenching*) media pendinginannya. Perbedaannya adalah pada proses *modified martempering* pencelupannya dilakukan pada media dengan temperatur di bawah (M_s) tetapi di atas *martensite finish* (M_f) [22], [23]. Perlakuan panas *martempering* atau *modified martempering* pada baja yang diikuti dengan *tempering* dapat menghasilkan kekerasan dan kekuatan tarik yang hampir sama dengan proses *quenching* konvensional dan *tempering* tetapi memiliki kekuatan impak yang jauh lebih baik [22].

Temperatur M_s dan M_f pada setiap jenis baja berbeda-beda, yang secara umum sangat dipengaruhi oleh persentase kandungan karbon yang terdapat pada baja [26]. Konsentrasi karbon dalam baja mendominasi perubahan temperatur transformasi fasa dan sifat mekanik. Penelitian eksperimental menunjukkan bahwa temperatur M_s menurun seiring dengan meningkatnya kandungan karbon seperti ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini:



Gambar 1: Pengaruh kandungan karbon pada temperatur M_s dan M_f serta *retained austenite* [27].

2. METODE DAN BAHAN

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode eksperimental untuk mengetahui pengaruh proses *pack carburizing* yang diikuti dengan proses *modified martempering* dan *tempering* terhadap sifat mekanik dodos kelapa sawit. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kualitas dodos lokal yang lebih baik yang memiliki kombinasi kekerasan dan ketangguhan yang optimal sehingga bisa menjadi salah satu acuan dalam proses pembuatan dodos. Parameter sifat mekanik yang dilakukan pengujian meliputi kekerasan dan ketahanan impact.

Bahan utama penelitian menggunakan 3 jenis merek dodos produk lokal dan 4 jenis merek dodos produk impor sebagai pembanding. Dodos kemudian dipotong dengan ukuran tertentu untuk diuji komposisi kimianya menggunakan *optical emission spectroscopy* (OES) di laboratorium Program Studi Teknologi Mesin Politeknik LPP. Hasil uji komposisi kimia spesimen dodos dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini:

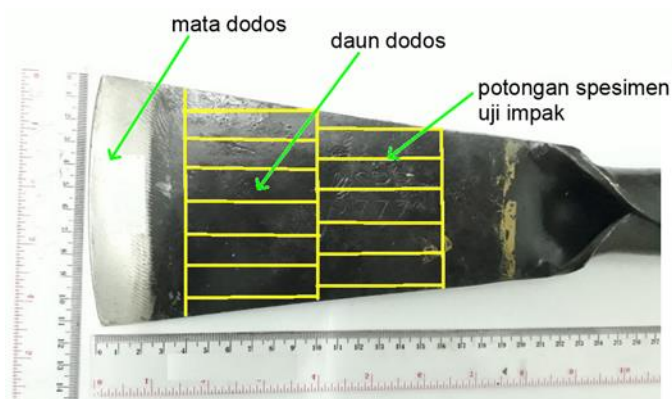
Tabel 1: Hasil uji komposisi kimia dodos beberapa merek produk lokal (lo) dan impor (im) dalam % berat.

DODOS	C	Si	Mn	S	Cu	Cr	Mo	Ni
a-lo	0.57399	0.10498	0.67711	0.00029	0.08414	0.7574	0.05188	0.04327
b-lo	0.57931	0.06195	0.68869	0.00083	0.06536	0.73989	0.04056	0.03358
c-lo	0.66454	0.19441	0.63387	0.00265	0.09568	0.69832	0.06853	0.05013
a-im	0.56458	0.10082	0.66689	0.00071	0.07877	0.74629	0.04013	0.04072
b-im	0.5877	0.16293	0.5959	0.00022	0.17308	0.63699	0.05606	0.06103
c-im	0.60983	0.15977	0.66565	0.00034	0.05189	0.71754	0.04636	0.00273
d-im	0.57438	0.07914	0.65359	0.00311	0.15907	0.73829	0.03927	0.04269

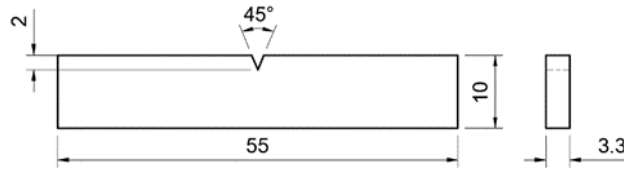
Dari hasil uji komposisi kimia menunjukkan bahwa bahan dasar baja yang digunakan dalam pembuatan dodos baik itu produk lokal (lo) maupun produk impor (im) menggunakan jenis baja yang relatif sama yaitu baja paduan rendah (*low alloy steel*) yang setara dengan standar AISI 5155, DIN 55Cr3, atau JIS G 4801 SUP9 yang biasa disebut sebagai baja pegas.

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *mikrovickers* dengan beban penekanan 9.8 kgf untuk mengetahui distribusi kekerasan dodos di sisi mata dodos dan sisi daun dodos. Kekerasan di sisi mata dodos dapat menunjukkan kualitas ketajaman dodos dan tingkat ketahanan aus mata dodos. Semakin keras bagian mata dodos maka dodos semakin tajam dan tingkat ketahanan ausnya cenderung semakin baik, sehingga dodos dapat semakin lama mempertahankan ketajamannya saat digunakan.

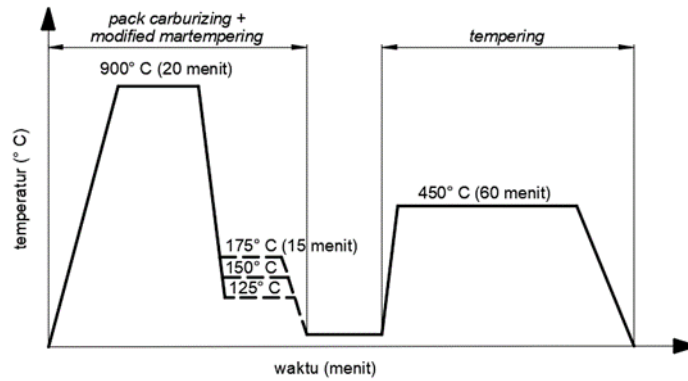
Selanjutnya dibuat spesimen uji impact dengan mengambil spesimen di bagian daun dodos seperti terlihat pada Gambar 2. Pengujian impact dilakukan untuk mengetahui ketangguhan dodos saat diberi beban impact, karena dalam operasionalnya dodos mendapat beban impact saat digunakan. Metode pengujian dan spesimen uji impact yang dibuat mengikuti standar ASTM A370 [28] seperti pada Gambar 3 dan pengujian dilakukan dengan metode *Charpy* pada mesin uji impact *Torse* dengan beban 20 kg.



Gambar 2: Pengambilan potongan sampel uji impact pada bagian daun dodos.



Gambar 3: Dimensi spesimen uji impact (mm) [28].



Gambar 4: Skema proses perlakuan panas pack carburizing yang diikuti dengan modified martempering dan tempering.

Pada perlakuan panas pack carburizing, spesimen dodos diletakkan pada kotak carburizer yang diisi dengan arang tempurung kelapa kemudian dipanaskan dalam oven pemanas. Pemanasan dilakukan pada temperatur austenitisasi 900°C selama 20 menit, setelah itu diikuti proses modified martempering (MM) pada media pendingin oli pada temperatur di atas martensit finish (M_f) selama 15 menit, kemudian didinginkan pada temperatur kamar. Proses tersebut dituangkan dalam skema Gambar 4 dan Tabel 2 dengan variasi temperatur media pendingin oli masing-masing 125°C, 150°C, dan 175°C. Proses akhir dari perlakuan ini adalah tempering pada temperatur 450°C selama 60 menit.

Tabel 2: Skema proses pack carburizing, modified martempering, dan tempering pada spesimen dodos lokal.

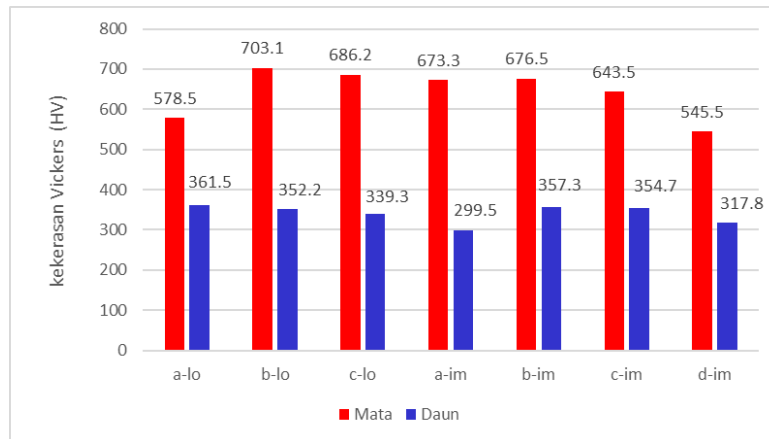
KODE	PERLAKUAN PANAS	AUSTENITISASI		PENDINGINAN		TEMPERING	
		SUHU (°C)	WAKTU (MNT)	SUHU (°C)	WAKTU (MNT)	SUHU (°C)	WAKTU (MNT)
MM 1	Modified Martempering + Tempering	900	20	125	15	450	60
MM 2	Modified Martempering + Tempering	900	20	150	15	450	60
MM 3	Modified Martempering + Tempering	900	20	175	15	450	60
PC 1	Pack Carburizing + Modified Martempering + Tempering	900	20	125	15	450	60
PC 2	Pack Carburizing + Modified Martempering + Tempering	900	20	150	15	450	60
PC 3	Pack Carburizing + Modified Martempering + Tempering	900	20	175	15	450	60

3. HASIL DAN DISKUSI

Hasil pengujian kekerasan beberapa merek dodos produk lokal (lo) dan produk impor (im) sebelum diberi perlakuan panas dapat dilihat dalam diagram Gambar 5. Dari diagram menunjukkan bahwa kekerasan di bagian sisi mata dodos memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bagian daun dodos. Dodos produk lokal dan produk impor memiliki kekerasan yang variatif antara 545,5 HV - 703,1 HV. Nilai kekerasan ini masih di atas standar yang diwajibkan dalam SNI tentang syarat mutu dan standar uji dodos yaitu kekerasan minimal mata dodos sebesar 446 HV [29], sedangkan pada bagian daun dodos kekerasannya antara 299,5 - 361,5 HV.

Pada dodos produk lokal kekerasan tertinggi di bagian mata dimiliki oleh dodos b-lo dengan nilai

kekerasan 703,1 HV dan nilai terendahnya terjadi pada dodos a-lo dengan kekerasan 578,5 HV. Sedangkan pada produk impor nilai kekerasan tertinggi sebesar 676,5 HV yang dimiliki oleh dodos b-im dan nilai terendahnya sebesar 545,5 HV yang terjadi pada dodos d-im.



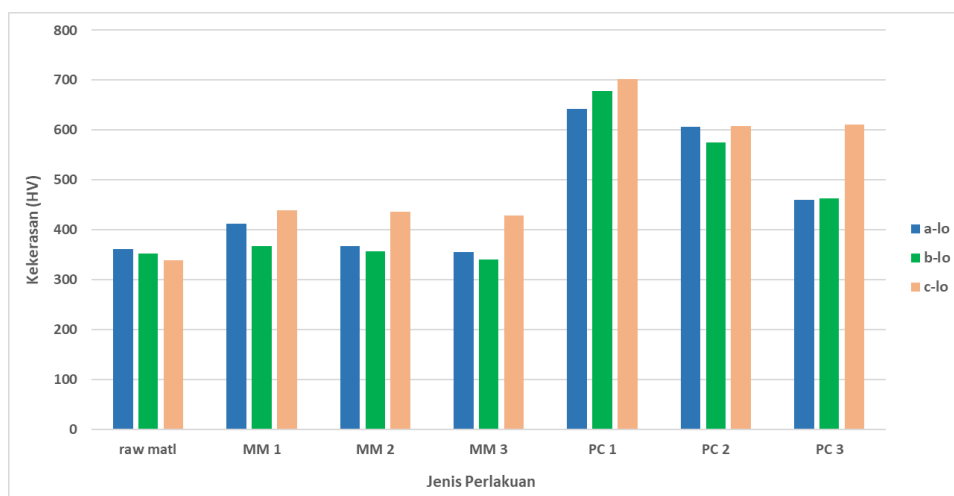
Gambar 5: Diagram kekerasan rata-rata pada 3 merek dodos produk lokal (lo) sebelum perlakuan panas dan 4 merek produk impor (im) pada bagian mata dodos dan daun dodos.

Nilai kekerasan tertinggi bagian daun dodos pada produk lokal sebesar 361,5 HV dimiliki dodos a-lo dan nilai kekerasan terendahnya sebesar 339,3 HV pada dodos c-lo. Sedangkan pada produk impor (im) nilai tertingginya sebesar 357,3 HV dan nilai terendahnya sebesar 299,5 HV. Berdasarkan hasil uji kekerasan tersebut menunjukkan bahwa nilai kekerasan dodos produk lokal (lo) relatif tidak memiliki perbedaan yang terlalu besar dibandingkan dengan dodos produk impor (im). Ujung atau mata dodos yang keras bertujuan untuk mendapatkan tingkat ketajaman yang tinggi serta ketahanan aus yang baik sehingga bisa dipakai untuk memotong buah dan pelepah sawit dengan mudah dan tidak terlalu sering untuk mengasahnya kembali karena tumpul. Sedangkan bagian daun dodos dibutuhkan ketangguhan yang tinggi dan tidak rapuh sehingga mampu menahan beban tekuk dan beban dampak atau kejutan saat digunakan.

Hasil uji kekerasan pada spesimen dodos setelah diberi perlakuan panas *modified martempering + tempering* (MM) dan spesimen yang diberi perlakuan *pack carburizing + modified martempering + tempering* (PC), dapat dilihat pada Tabel 3 dan diagram Gambar 6 berikut ini:

Tabel 3: Hasil uji kekerasan rata-rata pada 3 merek dodos produk lokal (lo) sebelum dan sesudah perlakuan panas dalam skala *Vicker* (HV).

DODOS	raw matl	MM 1	MM 2	MM 3	PC 1	PC 2	PC 3
a-lo	361.48	412.43	366.48	354.68	642.33	606.75	459.50
b-lo	352.23	367.33	356.95	339.68	678.30	574.93	463.40
c-lo	339.27	438.45	436.48	428.90	701.73	607.25	610.05



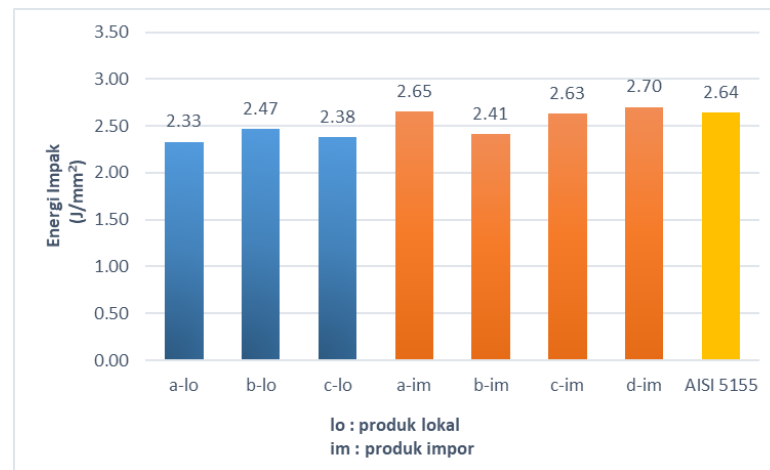
Gambar 6: Diagram hasil uji kekerasan rata-rata 3 merek dodos produk lokal (a-lo, b-lo, dan c-lo) sebelum dan sesudah perlakuan panas.

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa perlakuan panas MM yang diikuti dengan *tempering* cenderung meningkatkan kekerasan dodos. Kekerasan dodos a-lo pada proses MM 1 temperatur 125⁰ C sebesar 412,43 HV atau meningkat sebesar 14% dibandingkan sebelum diberi perlakuan panas, sedangkan pada proses MM 2 temperatur 150⁰ C kekerasannya sebesar 366,48 HV (1%), dan pada MM 3 temperatur 175⁰ C kekerasannya sebesar 354,68 HV (-2%). Kekerasan dodos b-lo pada proses MM 1 sebesar 367,33 HV (4%), pada MM 2 sebesar 356,95 HV (1%), dan pada MM 3 sebesar 339,68 HV (-4%). Sedangkan kekerasan dodos c-lo pada proses MM 1 sebesar 438,45 HV (29.2%), MM 2 sebesar 436,48 HV (29%), dan MM 3 sebesar 428,90 HV (26%).

Semakin rendah temperatur oli pada proses *modified martempering* (MM) menghasilkan kekerasan dodos yang semakin tinggi. Hal ini dapat dikaitkan dengan jumlah struktur *martensit* yang terbentuk pada saat proses pendinginan sangat dipengaruhi oleh temperatur pendinginannya. Semakin banyak jumlah struktur *martensit* yang terbentuk pada baja, maka akan meningkatkan kekerasan baja. Struktur *martensit* yang terbentuk pada baja yang didinginkan pada temperatur tinggi mendekati temperatur Ms jumlahnya relatif sedikit apabila dibandingkan dengan jumlah struktur *martensit* yang terbentuk pada quenching di temperatur yang lebih rendah [30].

Kekerasan yang dihasilkan pada proses perlakuan panas *pack carburizing* (PC) yang diikuti dengan *tempering* menghasilkan kekerasan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan proses MM yang diikuti dengan *tempering*. Hal ini disebabkan pada proses *pack carburizing* dapat menambah kandungan karbon pada bagian permukaan dodos sehingga kekerasannya mengalami peningkatan yang cukup besar [31]. Peningkatan tertinggi kekerasan pada proses ini terjadi pada proses PC 1 pada temperatur oli 125⁰ C yaitu berkisar antara 78% - 107% atau menjadi 642,33 – 701,73 HV pada seluruh jenis merek dodos lokal. Pada proses PC 2 temperatur oli 150⁰ C kekerasannya meningkat antara 63% - 79% atau menjadi 574,93 – 606,75 HV. Sedangkan pada proses PC 3 temperatur oli 175⁰ C kekerasannya meningkat antara 27% - 80% atau menjadi 459,50 – 610,05 HV.

Hasil pengujian impact bagian daun dodos produk lokal (lo) sebelum mengalami perlakuan panas dan produk impor (im) dapat dilihat dalam diagram gambar 7 sebagai berikut:



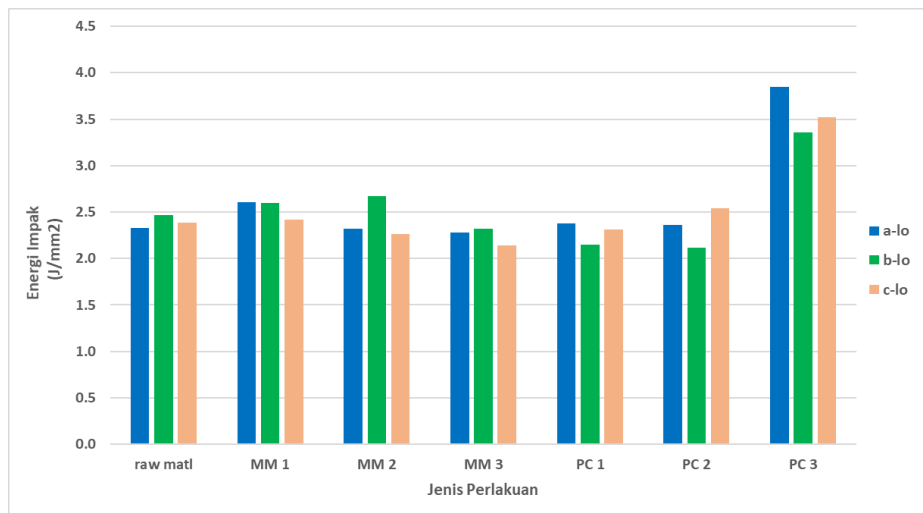
Gambar 7: Diagram perbandingan ketahanan impact rata-rata bagian daun dodos 3 merek produk lokal (lo) sebelum diberi perlakuan panas dan 4 merek produk impor (im).

Dari diagram Gambar 7 menunjukkan kekuatan atau ketahanan impact dodos produk lokal (lo) sebagian besar masih di bawah produk impor (im), yaitu berkisar antara 2.33 – 3,47 J/mm². Sedangkan produk impor (im) berada dalam range 2.41 – 2.70 J/mm². Secara kualitas ketahanan impact produk impor masih lebih baik dibandingkan produk lokal. Apabila dibandingkan dengan bahan baku dodos dari bahan pegas daun AISI 5155 dengan nilai impact 2.64 J/mm², dodos produk lokal nilainya lebih rendah dibanding baja AISI 5155, sedangkan untuk dodos impor nilai impactnya hampir sama dengan baja AISI 5155.

Hasil uji impact di bagian daun dodos produk lokal setelah diberi perlakuan panas dapat dilihat dalam Tabel 4 dan diagram pada Gambar 8 sebagai berikut:

Tabel 4: Hasil uji rata-rata kekuatan impact 3 merek dodos produk lokal (lo) sebelum dan sesudah perlakuan panas dalam satuan J/mm².

DODOS	raw matl	MM 1	MM 2	MM 3	PC 1	PC 2	PC 3
a-lo	2.33	2.61	2.32	2.28	2.38	2.36	3.85
b-lo	2.47	2.60	2.67	2.32	2.15	2.12	3.36
c-lo	2.38	2.42	2.26	2.14	2.31	2.54	3.52



Gambar 8: Diagram hasil uji impact rata-rata pada 3 merek dodos produk lokal (a-lo, b-lo, dan c-o) sebelum dan sesudah perlakuan panas.

Berdasarkan hasil pengujian impact pada dodos lokal menunjukkan bahwa perlakuan panas dapat mengubah kekuatan impact pada semua jenis merek dodos lokal. Pada perlakuan panas MM 1 dengan pendinginan oli pada temperatur 125⁰ C, kekuatan impact dodos pada seluruh jenis merek yang diuji mengalami peningkatan antara 2% - 12% dengan peningkatan tertinggi dialami pada dodos a-lo. Pada perlakuan MM 2 dengan temperatur oli 150⁰ C, dodos a-lo dan c-lo mengalami penurunan kekuatan impact sebesar 0.5% dan 5%, sedangkan pada dodos b-lo mengalami peningkatan kekuatan sebesar 8%. Perlakuan MM 3 dengan temperatur pendinginan oli 175⁰ C, semua jenis dodos mengalami penurunan kekuatan impact antara 2% - 10%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur pendinginan oli pada perlakuan panas MM, akan menurunkan kekuatan impact dodos.

Pada perlakuan panas *pack carburizing* yang diikuti dengan *modified martempering* (PC), kekuatan impact sebagian besar spesimen dodos mengalami peningkatan tetapi ada juga yang mengalami penurunan. Perlakuan panas PC 1 pada temperatur 125⁰ C kekuatan impact pada spesimen a-lo mengalami peningkatan 2%, sedangkan pada spesimen b-lo dan c-lo mengalami penurunan masing-masing 13% dan 3%. Perlakuan panas PC 2 pada temperatur 150⁰ C kekuatan impact spesimen a-lo dan c-lo mengalami peningkatan masing-masing sebesar 1% dan 7%, sedangkan pada spesimen b-lo justru mengalami penurunan sebesar 14%. Proses PC 3 pada temperatur 175⁰ C kekuatan impact pada seluruh spesimen dodos mengalami peningkatan masing-masing sebesar 65% menjadi 3,85 J/mm² pada dodos a-lo; pada dodos b-lo menjadi 3,36 J/mm² atau meningkat 36%; dan pada dodos c-lo meningkat 48% menjadi 3,52 J/mm². Temperatur pendinginan *modified martempering* pada proses PC sangat berpengaruh terhadap nilai kekuatan impact spesimen. Semakin tinggi temperatur oli sebagai media pendinginan justru akan meningkatkan kekuatan impact spesimen.

Peningkatan kekuatan impact ini dapat dikaitkan dengan tingkat tegangan termal yang lebih rendah yang terjadi saat didinginkan pada temperatur oli yang lebih tinggi. Pada saat proses pendinginan temperatur di permukaan spesimen akan turun lebih cepat dibandingkan bagian dalam spesimen sehingga memiliki perbedaan volume spesifik yang berbeda antara bagian permukaan dan bagian dalamnya, hal ini menimbulkan gaya tarik antara bagian permukaan dan bagian dalamnya selama proses pendinginan yang

berlangsung cepat. Oleh karena itu tegangan termal ini besarnya sebanding dengan perbedaan temperatur dan tegangan tarik yang terjadi antara bagian permukaan dan bagian dalam spesimen. Semakin tinggi perbedaan temperatur antara bagian permukaan dengan bagian dalam spesimen maka semakin besar pula tegangan termalnya. Dengan mengubah temperatur pendinginan menjadi lebih tinggi, efek tegangan termal yang berbahaya akan sangat berkurang [19].

Berdasarkan hasil uji impak ini menunjukkan bahwa kekuatan impak dodos produk lokal masih bisa ditingkatkan dengan proses *pack carburizing* dan *modified martempering*, bahkan kekuatan impaknya bisa melebihi dodos produk impor.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Dodos produk lokal dalam negeri secara kualitas kekerasannya sudah memenuhi standar minimal SNI dan setara dengan dodos produk impor, tetapi kekuatan impaknya masih sedikit dibawah dodos produk impor.
2. Dodos produk lokal dapat ditingkatkan kualitasnya, terutama kekerasan dan kekuatan impaknya melalui proses perlakuan panas *modified martempering* atau *pack carburizing* yang diikuti *modified martempering*.
3. Perlakuan panas *modified martempering* pada temperatur pendinginan oli 125⁰ C yang diikuti *tempering* pada temperatur 450⁰ C dapat meningkatkan kekuatan impak dodos sampai dengan 12% lebih tinggi dibandingkan dodos tanpa perlakuan panas, sedangkan kekerasannya dapat meningkat sampai dengan 29%.
4. Perlakuan panas *pack carburizing* yang diikuti dengan *modified martempering* pada temperatur pendinginan oli 175⁰ C dan *tempering* pada temperatur 450⁰ C dapat meningkatkan kekuatan impaknya sampai dengan 65% dan kekerasannya meningkat sampai dengan 27%.

5. PERNYATAAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik LPP yang telah membiayai penelitian ini melalui skema Penelitian Hibah Kompetisi tahun 2021.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. KURNIAWAN and A. P. LONTOH, "Management Harvesting Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) In Division 2 Bangun Koling Estate, East Kotawaringin, Central Kalimantan," *Bul. Agrohorti*, vol. 6, no. 1, pp. 151–161, 2018.
- [2] Y. FAUZI, Y. E. WIDYASTUTI, I. SATYAWIBAWA, and R. H. PAERU, *Kelapa Sawit: Budidaya Pemanfaatan Hasil dan Limbah Analisis Usaha dan Pemasaran*. Jakarta: Penebar Swadaya, 2012.
- [3] BUMITAMA GUNAJAYA AGRO, *Pedoman Teknis Agronomis Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.)*. Jakarta: BGA Group Plantation, 2010.
- [4] M. DOLOKSARIBU and E. AFRILINDA, "Peningkatan Kualitas Dodos dengan Variasi Temperatur Austenisasi dan Media Quenching," *Metal Indonesia*, vol. 36, no. 1, pp. 1–7, 2014.
- [5] S. X. ZHANG, "Torque Transferring Low Carbon Steel Shafts with Refined Grain Size." Patent Application Publication, United States, Canton, MI (US), p. 5, 2007.
- [6] R. A. HIGGINS, *Engineering Metallurgy Part I, Applied Physical Metallurgy*, Sixth edition. London: Hodder Headline Group, 1993.
- [7] M. M. A. BEPARI, *Carburizing: A Method of Case Hardening of Steel*, vol. 2–3. Dhaka: Elsevier Ltd., 2017.
- [8] J. DOSSET and G. E. TOTTEN, "Introduction to Surface Hardening of Steels," in *ASM Handbook, Volume 4A, Heat Treating Fundamentals and Processes*, vol. 4, ASM International, 1991, pp. 259–267.
- [9] J. DAVIS, *Surface Hardening of Steels: Understanding the Basics*. Material Park, OH: ASM International, 2002.
- [10] C. WICK and R. F. VEILLEUX, *Tool and Manufacturing Engineers Handbook: Materials, Finishing, and Coating*, Subsequent., vol. 3. Society of Manufacturing Engineers, 1985.
- [11] S. R. ELMI HOSSEINI and Z. LI, "Pack Carburizing: Characteristics, Microstructure, and Modeling," in *Encyclopedia of Iron, Steel, and Their Alloys*, no. April, 2016, pp. 1–24.

- [12] S. R. ELMI HOSSEINI, H. KHOSRAVI, R. SOHRABI, Z. HOSSEINI, E. ZOHOUR KARIMI, and M. MAKAREM, "Correlation between Hardenability Curves and Microstructure of a Cementation Steel Carburized in the Presence of Na₂CO₃ as an Energizer Material," *ISIJ Int.*, vol. 53, no. 12, pp. 2213–2217, 2013.
- [13] W. CALLISTER and D. RETHWISCH, *Materials science and engineering: an introduction*, 7th ed. USA: John Wiley & Sons, Inc., 2007.
- [14] Y. YUNAIIDI and S. HARNOWO, "Pengaruh Viskositas Oli Sebagai Cairan Pendingin Terhadap Sifat Mekanis Pada Proses Quenching Baja St60," *J. Tek. Univ. Janabadra*, vol. 5, no. 1, pp. 57–63, 2015.
- [15] R. R. SAKURA and D. D. ISKANDAR, "Pengaruh Variasi Karbon Aktif dan Waktu Tahan Terhadap Kekerasan Material JIS G-3123 Menggunakan Metode Pack Carburizing," *Rekayasa Energi Manufaktur*, vol. 2, no. 1, pp. 31–35, 2017.
- [16] H. HAFNI and S. HADI, "Pengaruh Komposisi Arang Aktif Dan Kalsium Karbonat Pada Pack Carburizing Terhadap Microstructure," *J. Iptek Terap.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–7, 2016.
- [17] S. SUJITA, "Aplikasi Serbuk Arang Tongkol Jagung Dan Serbuk Cangkang Kerang Mutiara Sebagai Media Carburizer Proses Pack Carburizing Baja Karbon Rendah," *Rekayasa Mesin*, vol. 7, no. 3, pp. 145–149, 2016.
- [18] P. A. PARISTIAWAN, F. M. RIDHO, M. A. PRASETYO, and S. A. CHANDRA, "Pengaruh Variasi Media Pendingin Dan Variasi Holding Time Pada Proses Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Pada Baja Mangan Fe-10.5Mn-1.3Mo-2.5Ni," *Rekayasa Mesin*, vol. Vol. 12 No, no. Agustus, pp. 573–580, 2021.
- [19] D. DOS SANTOS FILHO, H. GOLDENSTEIN, and J. VATAVUK, "The Modified Martempering and its Effect on the Impact Toughness of a Cold Work Tool Steel," *SAE Tech. Pap.*, 2011.
- [20] G. KRAUSS, *Steels: Heat Treatment and Processing Principles*. Ohio, USA: ASM International, 1990.
- [21] W. F. SMITH, *Structure and Properties of Engineering Alloys*, 2nd edition. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1993.
- [22] H. CHANDLER, *Heat Treater's Guide: Practices and Procedures for Irons and Steels*, 2nd Edition. Material Park, OH: ASM International, 1995.
- [23] J. L. DOSSET and G. E. TOTTEN, *ASM Handbook Volume 4A: Steel Heat Treating Fundamentals and Processes*, vol. 4A. Material Park, OH, USA: ASM International, 2013.
- [24] S. M. C. VAN BOHEMEN, "Bainite and Martensite Start Temperature Calculated with Exponential Carbon Dependence," *Mater. Sci. Technol.*, vol. 28, no. 4, pp. 487–495, 2012.
- [25] F. ABBASI, A. J. FLETCHER, and A. B. SOOMRO, "A Critical Assessment of the Hardening of Steel by Martempering," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 25, no. 7, pp. 1069–1080, 1987.
- [26] I. SMAJEVIC *et al.*, "Co-firing Bosnian Coals with Woody Biomass: Experimental Studies on a Laboratory-Scale Furnace and 110 MWe Power Unit," *Therm. Sci.*, vol. 16, no. 3, pp. 789–804, 2012.
- [27] H.-J. BARGEL and G. SCHULZE, *Werkstoffkunde (Springer-Lehrbuch) 11th Edition*. Springer, 2013.
- [28] ASTM A370, "Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products," in *ASTM International*, vol. 01.03, West Conshohocken, PA, United States: ASTM International, 2004, pp. 1–48.
- [29] BSN, "Standar Nasional Indonesia SNI 8205: 2016, Alat Panen Kelapa Sawit – Dodos – Syarat Mutu dan Metode Uji." Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2016.
- [30] R. N. ELSHAER, K. M. IBRAHIM, M. M. IBRAHIM, and A. S. SOBH, "Effect of Quenching Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of Medium-Carbon Steel," *Metallogr. Microstruct. Anal.*, vol. 10, no. 4, pp. 485–495, 2021.
- [31] S. R. ELMI HOSSEINI and Z. LI, "Pack Carburizing: Characteristics, Microstructure, and Modeling," *Encycl. Iron, Steel, Their Alloy.*, no. April, pp. 1–24, 2016.