

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pencarian Tinjauan Pustaka

Rumusan masalah mengantarkan penulis menyusun *literature tree* sebagai langkah awal pencarian pustaka. Penyusunan *literature tree* perlu dilakukan untuk membantu penulis mencari topik literatur yang cukup spesifik agar cakupan pembahasan tidak terlalu umum, namun juga cukup luas agar kuantitas tercapai. *Literature tree* disusun dengan cara membagi subyek penelitian menjadi beberapa topik pendukung yang sesuai, kemudian topik dibagi kembali menjadi sub topik dengan lingkup yang lebih mengerucut untuk memperoleh kata kunci pencarian yang lebih spesifik.

Penyusunan *literature tree* pada penelitian ini diawali dengan menentukan subyek penelitian sesuai rumusan masalah, yaitu: 1) parameter proses *hardening* material ASSAB 705 dan ASSAB 709 yang tepat untuk meminimalkan biaya produksi, dan 2) komparasi kualitas material ASSAB 705 dan ASSAB 709 sebagai bahan pembuat komponen mesin berdasarkan kekuatan mekanik pasca proses *hardening*. Langkah berikutnya menyusun topik dan subtopik yang mendukung subyek penelitian. Topik dan subtopik penelitian dijelaskan sebagai berikut:

- a. Topik 1: proses *hardening* material ASSAB 705 dan ASSAB 709.

Topik ini dipilih dengan tujuan mencari berbagai literatur penelitian yang membahas mengenai parameter proses *hardening* material ASSAB 705 dan ASSAB 709 secara spesifik. Output yang diharapkan adalah diketahui faktor yang mempengaruhi hasil proses *hardening* pada material ASSAB 705 dan ASSAB 709.

- b. Topik 2: pengujian mekanik material baja golongan *machinery steel* pasca proses *hardening*.

Tujuan topik ini ialah untuk mengetahui macam pengujian mekanik yang digunakan untuk mengetahui kekuatan mekanik material. Penggunaan golongan *machinery steel* untuk mengerucutkan jenis pengujian mekanik baja yang sesuai dengan kebutuhan sebuah komponen mesin.

- c. Subtopik 1 dan 2.

Subtopik 1 dan 2 merupakan turunan dan kombinasi dari topik 1 dan 2. Tujuan kombinasi kedua topik adalah untuk mempersempit ruang lingkup pencarian literatur sehingga diperoleh hasil yang tepat. Kata kunci yang

digunakan untuk subtopik 1 dan 2 antara lain: *heat treatment, hardening, ASSAB 705, ASSAB 709, hardness, toughness, microstructure.*

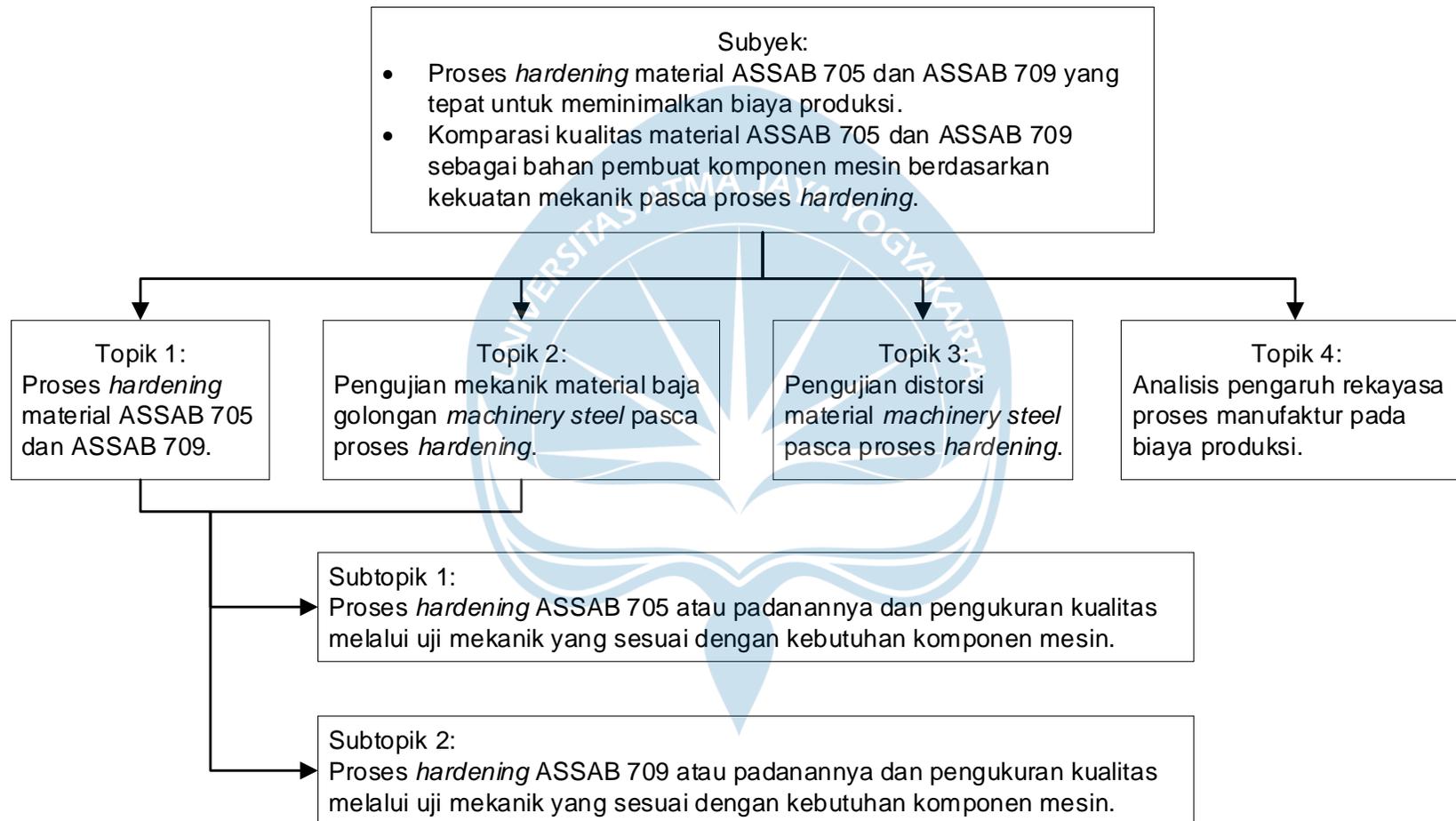
- d. Topik 3: pengujian distorsi material *machinery steel* pasca proses *hardening*.

Salah satu faktor yang digunakan sebagai uji kualitas material adalah respon distorsi material akibat proses *hardening*. Distorsi material merupakan salah satu dampak negatif proses *hardening*, maka perlu dilakukan penelitian untuk menguji pengaruh parameter proses *hardening* yang baru terhadap resiko distorsi yang mungkin terjadi. Topik ini digunakan sebagai dasar memilih literatur yang membahas mengenai parameter proses *hardening* yang mempengaruhi terjadinya distorsi material baja. Tujuan lainnya adalah untuk mengetahui metode yang digunakan untuk mengukur distorsi material yang terjadi. Kata kunci yang digunakan antara lain: *hardening, distortion steel, Navy C-ring.*

- e. Topik 4: analisis pengaruh rekayasa proses manufaktur terhadap biaya produksi.

Topik ini digunakan sebagai dasar mencari literatur terkait rekayasa nilai pada proses manufaktur serta pengaruhnya terhadap biaya produksi. Output yang diharapkan dari topik literatur ini ialah ditemukan metode analisis yang tepat untuk menganalisis parameter proses *hardening* yang baru. Kata kunci yang digunakan ialah: *value engineering, production cost analysis.*

Literature tree disusun dengan membagi subyek penelitian ke 5 topik terpisah dan 2 subtopik. Pencarian literatur memanfaatkan kata kunci yang terkait erat dengan topik dan subtopik yang telah ditentukan di *literature tree*, sehingga dapat ditemukan literatur yang tepat dan sesuai dengan kebutuhan penelitian. *Literature tree* pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. *Literature tree* penelitian

Kata kunci material ASSAB 705 dan ASSAB 709 dapat diganti sesuai dengan seri material padanannya, sehingga ditemukan literatur yang lebih banyak dan tetap sesuai dengan topik penelitian. Padanan material memiliki komposisi material yang serupa dengan golongan baja dan aplikasi penggunaan yang sama. Tabel 1 berikut berisi material padanan ASSAB 705 dan ASSAB 709 sesuai terlampir pada katalog ASSAB *Steel* (lampiran 2).

Tabel 1. Padanan material ASSAB 705 dan ASSAB 709

| <i>Referenced Standard Material</i> | | | | | | |
|-------------------------------------|------|-----------|--------|----------|------|---------|
| ASSAB | AISI | DIN | W.nr | JIS | BS | Bohler |
| 705 | 4340 | 34CrNiMo6 | 1.6582 | SNCM 439 | EN24 | VCN 150 |
| 709 | 4140 | 42CrMo4 | 1.7225 | SNCM 440 | EN19 | VCL 140 |

Langkah berikutnya ialah melakukan pencarian pustaka dengan menggunakan kata kunci yang telah ditetapkan. Proses pencarian pustaka disertai dengan proses *review* awal dengan menelaah bagian *abstract*, *introduction*, dan *conclusion*. Proses *review* awal dilakukan untuk menyaring pustaka berdasarkan isi konten yang sesuai dengan penelitian yang akan dilakukan. Hasil proses ini berupa kumpulan pustaka dengan isi konten yang cukup sesuai untuk penelitian.

2.2. Ulasan Tinjauan Pustaka

Proses *review* akhir dan analisis konten merupakan tahap lanjutan dari proses *review* awal. Proses *review* akhir dan analisis konten dilakukan secara bersamaan dengan cara menelaah secara mendalam isi keseluruhan pustaka terpilih. Hasil *review* akhir dan analisis konten menjadi ulasan tinjauan pustaka, dan ditampilkan sebagai berikut.

2.2.1. Tinjauan Pustaka Topik Metode *Hardening*

Penelitian yang dilakukan oleh Kumar dkk (2019) dan Meysami dkk (2010) menggunakan **variasi metode *hardening*** sebagai faktor perlakuan. Permasalahan yang diangkat oleh Kumar dkk (2019) ialah membandingkan metode *hardening*: 1) *high temperature thermomechanical treatment (HTMT)*, 2) *bake hardening (BH)*, dan 3) *conventionally hardened and tempered (CHT)*. Hasil kesimpulan mengungkap keunggulan masing-masing proses, dan proses terbaik dipilih berdasarkan uji kualitas nilai kekerasan dan kekuatan tarik material. Homogenitas struktur mikro dipertimbangkan pula dalam penelitian ini. Penelitian

menghasilkan kesimpulan bahwa CHT menghasilkan nilai ketangguhan tertinggi dan capaian nilai kekerasan yang sama dengan HTMT. Penelitian Meysami dkk (2010) membandingkan metode *hardening*: 1) *re-heating-quenched-tempering (RQ-T)*, dan 2) *Direct quenching-tempering (DQ-T)*. Hasil kesimpulan menyatakan metode DQ-T lebih baik berdasarkan uji kualitas nilai kekerasan, ketangguhan, kekuatan tarik, serta keseragaman struktur mikro. Andrew C. (2014) melakukan penelitian mengenai proses pengerasan dengan metode *carburizing* dan dampak nilai kekerasan dan tegangan dalam yang terjadi. Penelitian menggunakan spesimen *Navy C-ring*, kemudian dilakukan pengamatan besar distorsi yang terjadi pada dimensi diameter dalam, diameter luar, lebar celah/gap, serta mengamati tegangan sisa material. Penelitian menunjukkan besar tegangan dalam yang terjadi, penyebabnya, serta area dampak terdistorsi dan analisisnya. Kesimpulan dari tinjauan pustaka metode *hardening* ialah pemilihan tipe proses *hardening* dan *quench* berperan besar terhadap nilai kekerasan dan kekuatan mekanik akan dioptimalkan serta resiko kegagalan yang mungkin terjadi.

2.2.2. Tinjauan Pustaka Topik Temperatur Austenite

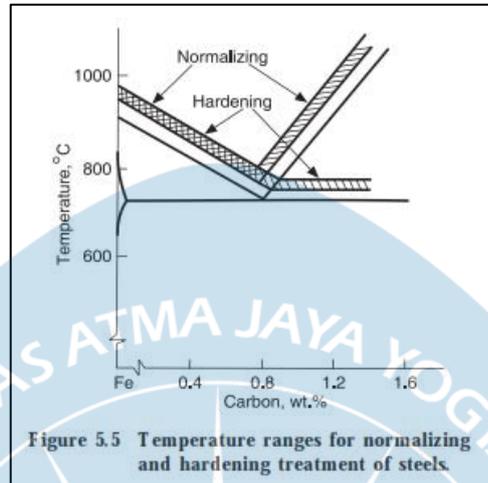
Penelitian Gurumurthy dkk (2018a), Lesiuk dkk. (2018), Gurumurthy dkk (2021), dan Namdev dkk (2021) menggunakan faktor perlakuan **variasi temperatur austenite**. Gurumurthy dkk (2018a) melakukan eksperimen pada material AISI 4340 dengan menerapkan 3 temperatur *austenite* berbeda, yaitu 750°C, 770°C, dan 790°C. Variasi terbaik dipilih berdasarkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik terbaik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur *austenite* yang tinggi menghasilkan nilai kekerasan dan kekuatan yang tinggi, serta *holding time* yang lama menyebabkan penurunan nilai kekerasan. Sedangkan penelitian Gurumurthy dkk (2021) menggunakan faktor uji variasi temperatur yang sama, pengujian kualitas yang sama, namun berbeda pada jenis material. Penelitian ini membandingkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik antara AISI 4340, AISI 4140, dan AISI 1040. Hasil pengujian menunjukkan bahwa temperatur *austenite* yang tinggi menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi, dengan kenaikan yang sama antara kekuatan tarik dan nilai kekerasan. AISI 4340 menunjukkan hasil pengerasan yang paling baik, diikuti dengan AISI 4140 dan kemudian AISI 1040. Penelitian Lesiuk dkk. (2018) menguji 2 variasi temperatur *austenite* 840°C dan 870°C, serta variasi temperatur temper guna melihat pengaruhnya terhadap kecepatan pertumbuhan retak material. Hasil terbaik dipilih berdasarkan hasil

pengujian kekerasan dan pengujian *fatigue*. Kesimpulan penelitian ialah material sepadan AISI 4340 menunjukkan laju pertumbuhan retak yang lebih lambat daripada AISI 4140, dan temperatur pemanasan yang tinggi mempengaruhi laju pertumbuhan retak. Penelitian Namdev dkk (2021) menggunakan spesimen dengan ukuran diameter 10 mm dan panjang 30 mm dengan material AISI 1015. Faktor pengujian menggunakan variasi temperatur *austenite* dan variasi load pengujian. Temperatur *austenite* yang digunakan ialah 740°C, 770°C, 800°C, 830°C. Variasi beban pengujian yang diterapkan ialah 14,74 N; 24,5 N; 34,3 N; dan 44,1 N. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa temperatur *austenite* yang tinggi dan pendinginan air meningkatkan persentase jumlah *martensite*, yang berdampak pada sifat keras dan ketahanan aus yang tinggi. Namun, dampak lain dari peningkatan jumlah *martensite* ialah nilai ketangguhan material akan menurun. Kesimpulan lain ialah besar pembebanan mempengaruhi ketahanan aus, semakin besar pembebanan maka semakin besar keausan yang terjadi.

Penelitian Gurumurthy dkk (2018b) dan Nunes dkk (2019) menerapkan 2 variasi perlakuan secara bersamaan, yaitu **variasi temperatur *austenite* dan metode pendinginan**. Penelitian Gurumurthy dkk (2018b) menggunakan variasi temperatur 780°C dan 900°C, dengan variasi metode pendinginan *austempering* dan air (konvensional). Uji kekerasan, ketangguhan, kekuatan tarik, dan mikro struktur dilakukan untuk mengevaluasi setiap variasi perlakuan. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa temperatur 780°C dan 900°C dengan pendinginan *austempering* memberikan ketangguhan dan kekerasan yang sama. Pendinginan air memberikan nilai kekerasan sangat tinggi, namun nilai ketangguhan yang lebih rendah. Penelitian Nunes dkk (2019) menggunakan variasi temperatur *austenite*, waktu tahan, serta variasi media pendingin untuk melihat dampaknya terhadap distorsi material. Variasi temperatur yang digunakan adalah 800°C, 850°C, dan 900°C, dengan waktu tahan 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Media pendinginan yang digunakan ialah air dan *oil*. Pengujian kualitas menggunakan uji kekerasan, uji mikro struktur, dan uji distorsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur *austenite* berdampak pada distorsi material yang lebih besar. Media pendingin *oil* menunjukkan distorsi material yang paling minimal. Hasil lain menyimpulkan bahwa keseragaman struktur mikro dipengaruhi oleh temperatur *austenite* dan waktu tahan.

Rajan dkk (2011) menyatakan bahwa temperatur *austenite* dipengaruhi oleh kadar karbon pada baja, sehingga temperatur *austenite* dipilih berdasarkan grafik garis

pengerasan pada Diagram Kesetimbangan Besi-Karbon. Gambar 6 menampilkan grafik hubungan antara kadar karbon pada baja dengan jangkauan temperatur *austenite*.



Gambar 6. Jangkauan temperatur *hardening* baja karbon

Literatur yang telah diperoleh menunjukkan bahwa pemilihan temperatur *austenite* disesuaikan dengan kandungan kadar karbon pada baja. Temperatur *austenite* memiliki batas atas dan batas bawah (jangkauan) yang diketahui melalui Diagram Kesetimbangan Besi-Karbon. Penggunaan temperatur *austenite* diluar jangkauan yang ditentukan berpotensi menghasilkan nilai kekerasan yang rendah. Penggunaan temperatur *austenite* yang lebih tinggi (di dalam jangkauan) akan menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi, dan sebaliknya.

2.2.3. Tinjauan Pustaka Topik Kecepatan Pendinginan (*Quench*)

Penelitian terkait faktor perlakuan media pendinginan dilakukan oleh Bilal dkk (2019), Bakshi dkk (2022), Han dkk (2021), dan Silva dkk (2012) dengan menyusun **variasi kecepatan pendinginan** pada proses *hardening*. Bilal dkk (2019) menggunakan variasi temperatur *austempering* (pendinginan *salt-bath*) untuk meneliti pengaruhnya terhadap nilai kekerasan, nilai ketangguhan, dan struktur mikro material AISI 4340 dan AISI 4140. Variasi temperatur *austempering* yang digunakan: 380°C, 340°C, 310°C, 452°C, 412°C, dan 372°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses *austempering* meningkatkan nilai kekerasan dan ketangguhan, dan material AISI 4340 memiliki sifat yang lebih baik dari AISI 4140. Penelitian Bakshi dkk (2022) mempelajari pengaruh nilai kekerasan, ketangguhan, dan kekuatan tarik material AISI 4340 akibat proses *austempering* pada temperatur 330°C. Hasil penelitian diperoleh dari uji kekerasan, uji ketangguhan,

uji tarik, dan uji struktur mikro. Han dkk (2021) meneliti nilai kekerasan dan ketahanan aus material AISI 4340 dengan spesimen berukuran diameter 10 mm dan panjang 10 mm. Penelitian dilakukan dengan menggunakan variasi pada temperatur *quench* (561°K, 589°K, 617°K, 644°K) dan variasi waktu tahan (60, 90, 180, 300, 600, 900, 1800, 3600, 7200 detik). Hasil penelitian menunjukkan temperatur *quench* yang lebih rendah memberikan nilai kekerasan dan ketahanan aus yang lebih tinggi. Han dkk (2021) juga menyatakan bahwa ketahanan aus yang tinggi meningkatkan umur pakai komponen. Silva dkk (2012) melakukan penelitian dengan menerapkan pendinginan *oil* untuk melihat pengaruhnya terhadap distorsi material, menggunakan spesimen *Navy C-ring*. Pengujian menggunakan uji kekerasan, alat ukur dimensi, dan uji struktur mikro. Hasil penelitian berupa kesimpulan rambatan pendinginan yang terjadi pada proses *quenching*.

Sanij dkk (2012) melakukan penelitian terhadap material AISI 4140 dengan menerapkan 2 variasi kecepatan pendinginan, yaitu: *conventional quenching and tempering (CQT)* dan *double quench tempering (DQT)*. CQT menerapkan 1 kali proses pemanasan dan pendinginan, sedangkan DQT menerapkan 2 kali proses pemanasan dan pendinginan. Pengujian kualitas yang dilakukan adalah uji kekerasan, uji tarik, uji ketangguhan, serta uji struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pendinginan DQT menghasilkan nilai ketangguhan yang lebih tinggi 23% dan ukuran butiran yang lebih halus.

Penelitian yang dilakukan oleh Wang dkk (2016) melibatkan material 20Si2Ni3 *steel* dengan spesimen *square* berukuran 10 mm x 10 mm x 30 mm. Media *quench* dan *load* menjadi variasi perlakuan yang diterapkan pada penelitian. Variasi metode *quench* ialah sistem konvensional dan sistem *quench-partition-temper (QPT)*, sedangkan variasi pembebanan meliputi: 0,5 J; 1,5 J; 2,5 J; dan 3,5 J. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode QPT menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi, nilai ketahanan aus terbaik, dan keseragaman struktur mikro yang baik. Keseragaman struktur mikro dan kekuatan mekanik mempengaruhi ketahanan aus material. Nilai ketangguhan yang tinggi mencegah resiko *crack* namun menurunkan ketahanan aus. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa keseragaman struktur mikro memperbaiki distribusi tegangan dan mencegah resiko *crack* material.

Penelitian Sakthivel dkk (2013) dan Mukhopadhyay dkk (2019) menggunakan variasi media *quench* untuk mengetahui pengaruhnya pada nilai kekerasan dan ketangguhan material. Penelitian Sakthivel dkk (2013) menggunakan spesimen dengan material EN8 berdiameter 7 mm dan panjang 30 mm. Penelitian ini menerapkan 3 faktor pengujian, yaitu: 1) *sliding speed* (2 m/s dan 2,5 m/s), 2) *load* pengujian 1 kg dan 2 kg, 3) media *quench* (*air quench*, *water quench*, *oil quench* (open), *oil quench* (closed)). Pendinginan *oil* meningkatkan nilai kekerasan dan memberi sifat ketahanan aus terbaik. Mukhopadhyay dkk (2019) melakukan penelitian pada *medium carbon steel* dengan spesimen berbentuk *square* berukuran 20 mm x 20 mm x 8 mm. Pengujian dilakukan dengan menggunakan variasi perlakuan pada faktor media *quench*. Media *quench* yang digunakan bervariasi, antara lain: air murni, *oil*, air-polimer (konsentrat bervariasi 10%, 20%, 30%, 40%, 50%). Kesimpulan dari penelitian ini ialah: 1) konsentrat yang semakin tinggi meningkatkan ketahanan aus material, 2) pendinginan media air memberikan resiko distorsi yang lebih kecil daripada media *oil*, 3) pendinginan media *oil* memberikan ketahanan aus terbaik.

Kesimpulan yang dapat diambil ialah kecepatan pendinginan mempengaruhi hasil nilai kekerasan material. Pendinginan yang lebih cepat menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi, dan sebaliknya. Pendinginan yang lebih cepat memiliki resiko distorsi yang lebih kecil. Kecepatan pendinginan juga memberikan pengaruh pada mikro struktur dan distorsi material.

2.2.4. Tinjauan Pustaka Topik Temperatur Temper

Penelitian yang dilakukan oleh Jami dkk (2021), Azizi dkk (2019), Sun dkk (2018), dan Kaiser dkk (2020) mengulas proses *hardening* material padanan ASSAB 705 dan ASSAB 709 dengan faktor perlakuan berupa **variasi temperatur temper**. Jami dkk (2021) menguji respon material AISI 4340 terhadap variasi temperatur temper: 300°C, 350°C, dan 400°C. Pengujian kekerasan dan kekuatan puntir digunakan untuk mengungkap sifat mekanik material. Serupa dengan penelitian Jami dkk (2021), Azizi dkk (2019) meneliti pengaruh variasi temperatur temper: 300°C, 350°C, dan 400°C. Perbedaannya ialah pengujian diterapkan pada material ASSAB 705 dan pengujian kualitas yang dilakukan ialah uji kekerasan, uji keausan, dan uji struktur mikro. Kedua penelitian ini menyimpulkan hasil yang serupa bahwa temperatur temper yang rendah memberikan nilai kekerasan dan kekuatan puntir yang tinggi, serta ketahanan aus yang baik. Penelitian Sun dkk

(2018) menggunakan variasi temperatur temper: 570°C, 600°C, 630°C, 660°C, 690°C, dan 720°C untuk mengetahui dampaknya terhadap ketangguhan material. Hasil pengujian impak dan kekerasan menunjukkan bahwa temperatur temper yang tinggi memberikan nilai ketangguhan yang tinggi. Kaiser dkk (2020) meneliti variasi temperatur *induction* dan konvensional temper: 350°C, 550°C, dan 570°C, serta pengaruhnya terhadap tegangan permukaan pada material. Pengujian kualitas yang digunakan adalah uji kekerasan, uji tarik, dan uji struktur mikro. Hasil pengujian menunjukkan proses temper konvensional menghasilkan tegangan sisa yang lebih kecil, dan tegangan tekan pada permukaan berubah menjadi tegangan tarik pasca proses temper.

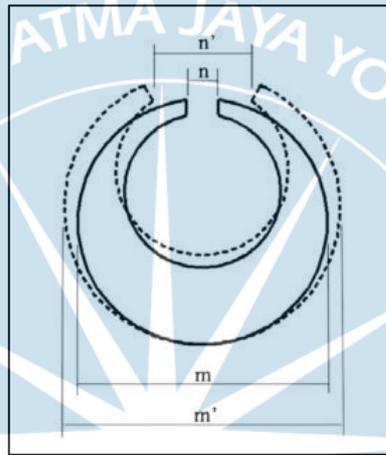
Szala dkk (2020) meneliti pengaruh **variasi temperatur pemanasan** pada proses *annealing* terhadap struktur mikro material, nilai kekerasan, dan koefisien pengerasan-regangan. Pengujian kualitas dilakukan untuk memilih temperatur *annealing* terbaik, dengan melakukan uji kekerasan dan uji mikrostruktur. Kesimpulan hasil pengujian menyatakan bahwa proses *anneal* mempengaruhi pertumbuhan butir besi murni sehingga menyebabkan penurunan kekerasan hingga dua kali lipat, serta meningkatkan sifat mampu keras baja.

Ulasan literatur memberikan kesimpulan bahwa temperatur temper memberikan pengaruh kepada nilai kekerasan dan nilai kekuatan mekanik material. Temperatur temper yang lebih tinggi memberikan kekuatan mekanik yang lebih baik, namun menurunkan nilai kekerasan material. Proses temper meminimalkan tegangan dalam material dan hal ini mendukung sifat mekanik yang lebih baik pada material.

2.2.5. Tinjauan Pustaka Topik Distorsi Material

Northwood dkk (2007) dan Clark dkk (2014) melakukan penelitian mengenai dampak distorsi material pasca proses pengerasan dengan **metode carburizing** dengan menggunakan spesimen *Navy C-ring*. Penelitian Northwood dkk (2007) menggunakan variasi temperatur *austenite* dan temperatur temper. Temperatur *austenite* menggunakan variasi 1700°F dan 1750°F, sedangkan variasi temperatur temper yang digunakan ialah 300°F dan 350°F. Evaluasi spesimen dilakukan dengan mengukur perubahan dimensi pada diameter dalam, diameter luar, lebar celah, kerataan, *cylindricity*, dan *roundness* pada spesimen. Hasil penelitian menunjukkan temperatur temper mempengaruhi distorsi pada diameter luar, lebar celah, dan kerataan permukaan. Proses *carburizing* menyebabkan distorsi pada kerataan permukaan spesimen. Penggunaan temperatur *carburizing* yang tinggi

menyebabkan tegangan dalam sisa yang besar dan mengakibatkan terjadinya distorsi material. Penelitian Clark dkk (2014) menggunakan variasi media pendinginan *salt bath* dan *oil*. Pengamatan yang dilakukan pada spesimen meliputi besar distorsi yang terjadi pada dimensi diameter dalam, diameter luar, lebar celah, serta mengamati tegangan sisa material. Output penelitian menunjukkan besar tegangan dalam tersisa, area terdistorsi, dan analisisnya. Kesimpulannya ialah media pendinginan dengan temperatur yang lebih tinggi menghasilkan tegangan dalam dan distorsi yang minimal. Visualisasi distorsi pada spesimen *Navy C-ring* ditampilkan pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Spesimen *Navy C-ring* dan distorsinya menurut Silva dkk (2012)

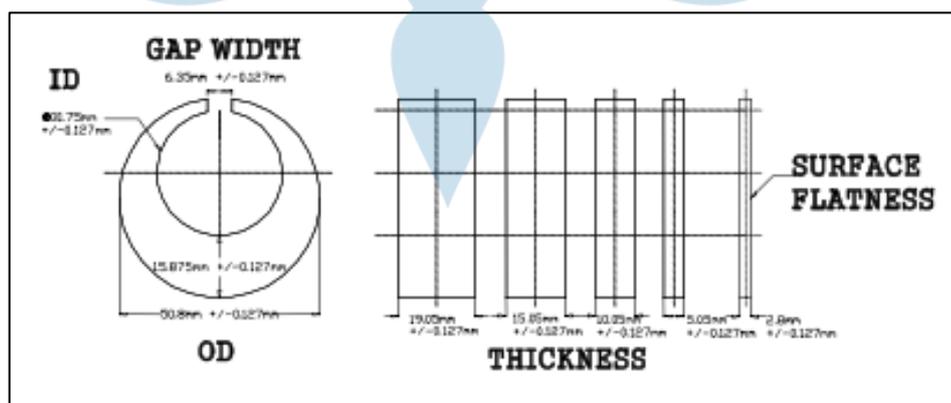
Penelitian Nunes dkk (2019) meneliti distorsi material dengan memanfaatkan spesimen berbentuk *Navy C-ring*. Penelitian menggunakan variasi pada faktor temperatur *austenite*, waktu tahan, dan media pendingin untuk mengetahui dampaknya terhadap distorsi material. Variasi temperatur yang digunakan adalah 800°C, 850°C, dan 900°C, dengan variasi waktu tahan 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Variasi media pendinginan yang digunakan ialah air dan *oil*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur *austenite* dan kecepatan pendinginan yang tinggi berdampak pada distorsi material yang lebih besar. Temperatur *austenite* dan waktu tahan yang tepat menghasilkan keseragaman struktur mikro sehingga meminimalkan resiko distorsi material.

Silva dkk (2012) melakukan penelitian dengan menerapkan pendinginan *oil* untuk melihat pengaruhnya terhadap distorsi material, menggunakan spesimen *Navy C-ring*. Pengujian menggunakan uji kekerasan, alat ukur dimensi, dan uji struktur mikro. Penelitian menguji perbedaan uji distorsi secara konvensional dengan menggunakan *software* DEFORM. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan

pengecekan distorsi antara *software* dan metode konvensional berkisar 7%. Penelitian dengan *software* memberikan gambaran rambatan pendinginan yang terjadi pada proses *quenching*, serta analisis arah dan besar distorsi.

Penelitian Sonar dkk (2018) membandingkan 2 metode pengerasan, yaitu *hardening* konvensional dan *hardening-deep cryogenic* pada material AISI D2 Tool steel. Penelitian dilakukan dengan menggunakan spesimen Navy C-ring. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *hardening-deep cryogenic* menghasilkan distorsi yang paling minimal. Hal ini disebabkan metode *hardening-deep cryogenic* menghasilkan struktur mikro yang seragam sehingga tegangan dalam sisa yang terbentuk lebih sedikit.

Nan dkk (2009) melakukan penelitian distorsi material pada SAE 1010 Plain Carbon Steel. Tipe spesimen yang digunakan ialah Navy C-ring. Penelitian ini menggunakan variasi pada faktor perlakuan: media *quench*, temperatur *quench*, dan ketebalan material. Variasi media *quench* dengan menggunakan *gas ferritic nitrocarburizing* dan *nitrogen cooling*, dengan variasi temperatur *quench* 510°C, 540°C, 565°C, 595°C, 850°C. Ketebalan spesimen yang digunakan dalam penelitian ialah 19,05 mm; 15,05 mm; 10,05 mm; 5,05 mm; 2,8 mm ditampilkan pada Gambar 8. Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ialah: 1) distorsi terbesar pada diameter luar dan diameter dalam terjadi pada proses *nitrocarburizing* dengan temperatur 510°C, 2) distorsi terkecil diperoleh melalui proses *nitrocarburizing* dengan temperatur 565°C, 3) distorsi kerataan disebabkan oleh ketebalan material yang berbeda.



Gambar 8. Faktor tebal pada penelitian Nan dkk (2009)

Rajan dkk (2011) menyatakan bahwa distorsi material merupakan salah satu resiko kegagalan yang mungkin terjadi pasca proses *heat treatment*. Pada proses *hardening* distorsi material terjadi akibat pemanasan pada temperatur *austenite*

dan pendinginan pada proses *quench*. Dampak distorsi material berupa perubahan bentuk dan dimensi benda.

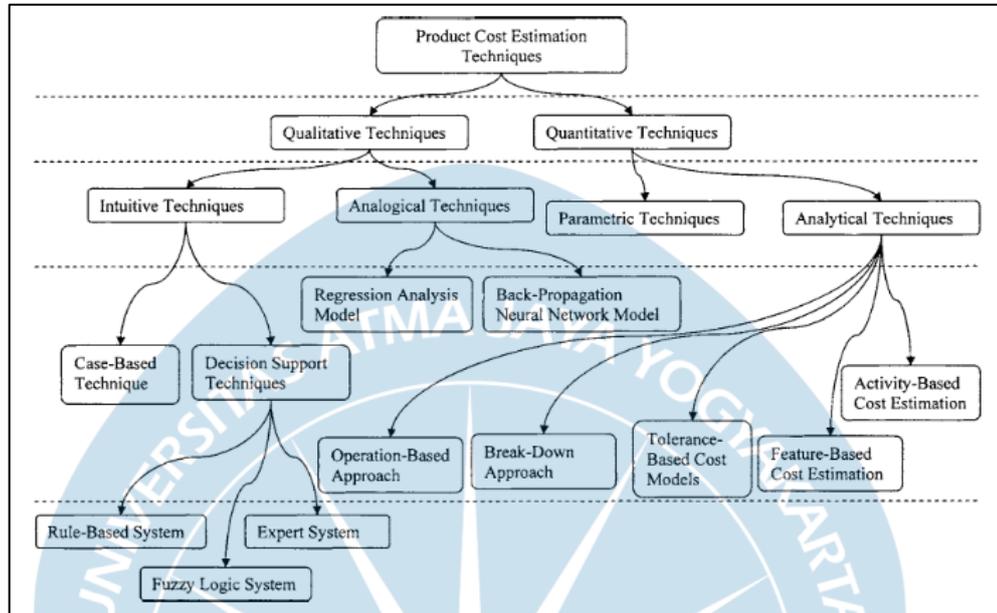
Ulasan literatur pengujian distorsi memberikan beberapa kesimpulan, antara lain: 1) spesimen berbentuk *Navy C-ring* umum digunakan dalam uji distorsi karena memenuhi syarat pengukuran dimensi yang lengkap, 2) temperatur *austenite* dan media *quench* memberikan pengaruh pada distorsi material, 3) ketebalan material mempengaruhi distorsi kerataan permukaan spesimen, 4) keseragaman struktur mikro meminimalkan adanya tegangan dalam sisa sehingga meminimalkan resiko distorsi.

2.2.6. Tinjauan Pustaka Topik Biaya Produksi

Das dkk (2018) melakukan penelitian pengaruh penggunaan alat potong *coated carbide insert* pada proses pemesinan material AISI 4340, terhadap kekasaran permukaan, umur pakai alat potong, dan estimasi biaya. Estimasi biaya yang dihitung merupakan dampak dari parameter pemesinan terpilih yang digunakan untuk mencapai kualitas yang dituju. Penelitian ini menghasilkan satu nilai keluaran estimasi biaya untuk parameter yang terpilih. Pada penelitian ini, estimasi biaya yang dihitung meliputi: nilai mesin dan operator, biaya pemesinan, biaya penggantian alat potong, harga alat potong, dan biaya material. Samantaraya dkk (2018) membahas mengenai metode pemesinan alternatif pembuatan roda gigi, dengan melibatkan faktor *cutting speed*, *feed rate*, dan *depth of cut*. Evaluasi hasil penelitian dikaitkan dengan waktu dan biaya pemesinan. Waktu pemesinan meliputi proses pemesinan dan siklus waktu persiapan, sedangkan biaya pemesinan meliputi biaya proses pemesinan, biaya persiapan pemesinan, dan biaya operator. Perhitungan biaya digunakan sebagai parameter pengukuran efisiensi metode pemesinan yang baru terhadap metode sebelumnya. Penelitian yang dilakukan oleh Karandikar dkk (2014) membahas mengenai perubahan parameter proses pemesinan frais dengan tujuan menemukan biaya yang optimal. Perhitungan biaya dalam penelitian ini melibatkan: biaya proses pemesinan dan biaya alat potong. Biaya total menjadi acuan utama untuk menentukan parameter proses pemesinan yang tepat dengan mempertimbangkan kualitas kekasaran permukaan yang harus dicapai.

Niazi dkk (2006) menyusun *literature review* mengenai estimasi biaya produksi. Penelitian ini mengkaji berbagai metodologi dan teknik untuk menyusun estimasi biaya produksi. Secara umum, penelitian ini membagi teknik estimasi biaya

menjadi dua bagian utama, yaitu teknik kualitatif dan teknik kuantitatif. Setiap teknik memiliki turunan teknik atau pendekatan yang berbeda, ditampilkan pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Klasifikasi teknik estimasi biaya produksi Niazi dkk (2006)

Secara khusus, bagian ini membahas *Analytical Techniques* merupakan bagian dari teknik kuantitatif. *Analytical Techniques* dibagi menjadi 5 bagian berdasarkan metode pendekatan yang digunakan untuk menghitung estimasi biaya. *Operation-Based Approach* merupakan teknik estimasi biaya yang melibatkan: biaya operator, biaya mesin, biaya persiapan, biaya operasional dan biaya non-operasional mesin. *Break-Down Approach* menggunakan metode pendekatan yang berbeda, yaitu: biaya pemesinan, biaya perawatan, biaya perbaikan, biaya asuransi, dan biaya investasi mesin, serta pajak. *Tolerance-Based Cost Models* merupakan teknik estimasi biaya yang menggunakan selisih dimensi ukuran *raw material* dengan dimensi yang dituju. Perhitungan metode ini melibatkan jumlah *scrap* pada proses pemesinan dan teknologi pemrosesan yang digunakan. Metode ini digunakan sebagai estimasi biaya pada pembuatan desain produk. Metode berikutnya ialah *Feature-Based Cost Estimation* yang menggunakan fitur produk sebagai ukuran estimasi biaya produksi. Fitur produk yang banyak dan kualitas menuntut proses pemesinan yang lebih rumit dan presisi, hal ini menimbulkan biaya tambahan pada prosesnya. Dengan demikian, metode ini sesuai dalam penyusunan estimasi biaya pada saat pembuatan desain produk. Metode berikutnya ialah *Activity-Based Costing (ABC) System* yang menggunakan

pendekatan kegiatan atau aktivitas manufaktur dalam menghasilkan produk. *ABC system* merupakan metode estimasi biaya tradisional dan sederhana namun mampu menghasilkan estimasi biaya yang akurat (Niazi dkk, 2006). Secara umum metode ini melibatkan biaya yang muncul sejak proses desain produk hingga proses manufaktur. Biaya yang terlibat antara lain: biaya mesin per jam, biaya alat, biaya operator, biaya peralatan lain yang digunakan, dan biaya aktivitas pendukung kegiatan produksi lainnya. Niazi dkk (2006) menyatakan bahwa teknik *ABC system* membutuhkan *lead time* pada desain aktivitas sebelumnya sebagai pembanding untuk desain aktivitas yang baru.

Andrade dkk (1999) melakukan penelitian terkait pembelajaran dan penerapan teknik *Activity-Based Costing (ABC) system* pada produksi manufaktur. *ABC system* merupakan alternatif perhitungan biaya yang sederhana namun mampu menghasilkan perhitungan yang akurat dan konsisten. Teknik ini berbasis pada jumlah sumber daya yang digunakan pada aktivitas pembuatan produk. Aktivitas yang diukur tidak hanya mencakup aktivitas proses produksi, namun juga mencakup perpindahan material, pemeriksaan kualitas, dan aktifitas lain yang menimbulkan biaya. Kesimpulannya, total biaya produksi ialah keseluruhan biaya sumber daya dan aktivitas yang digunakan oleh produk.

Kesimpulan dari tinjauan pustaka biaya produksi ialah perhitungan biaya produksi digunakan untuk mengevaluasi efisiensi pemilihan bahan produk, desain produk, proses manufaktur, *material handling*, alat dan mesin, dan aktivitas lain yang mempengaruhi biaya. Pemilihan proses yang tepat akan menghasilkan biaya produksi yang efisien. Metode penelitian *Activity-Based Costing system* merupakan metode pendekatan perhitungan biaya yang sesuai untuk mengevaluasi efisiensi biaya yang terjadi pada proses manufaktur.

2.2.7. Evaluasi Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka yang telah dilakukan mengungkap variasi faktor perlakuan dan faktor pengujian yang digunakan dalam penelitian proses *hardening* material sepadan ASSAB 705 dan ASSAB 709. Tabel 2 menampilkan identifikasi penelitian berdasarkan faktor perlakuan dan pengujian yang digunakan serta membandingkan kontribusi dan kebaruan penelitian saat ini terhadap penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

Tabel 2. Pengelompokan berdasarkan faktor perlakuan dan pengujian

| Faktor perlakuan | | | | Faktor pengujian | | | | | | | | Pustaka | Output |
|------------------|----------------------|--------|-------------------|------------------|--------|-----------|-------------|----------------|---------|----------|-----------|------------------------|---|
| Metode Hardening | Temperatur austenite | Quench | Temperatur Temper | Tarik | Puntir | Kekerasan | Ketangguhan | Struktur Mikro | Keausan | Distorsi | Lain-lain | | |
| √ | | | | √ | | √ | √ | √ | | | | Kumar dkk (2019) | metode <i>hardening</i> terbaik. |
| √ | | | | √ | | √ | √ | √ | | | | Meysami dkk (2010) | metode <i>hardening</i> terbaik. |
| √ | | √ | | | | √ | | √ | | √ | | Clark dkk (2014) | dampak distorsi akibat metode <i>carburizing</i> . |
| √ | √ | | | | | √ | | √ | | | | Szala dkk (2020) | dampak metode dan temperatur <i>austenite</i> pada struktur mikro dan tegangan material. |
| √ | √ | | √ | | | √ | | | | √ | | Northwood dkk (2007) | dampak distorsi akibat variasi temperatur dan temper pada metode <i>carburizing</i> |
| √ | | √ | | | | √ | | √ | | √ | | Sonar dkk (2018) | dampak metode <i>hardening</i> dan media <i>quench</i> terhadap kekerasan, struktur mikro, dan distorsi material. |
| | √ | | | √ | | √ | √ | √ | | | | Gurumurthy dkk (2018a) | temperatur <i>austenite</i> dan <i>holding time</i> terbaik. |
| | √ | | | | | √ | | | | | √ | Lesiuk dkk (2018) | dampak <i>fatigue</i> akibat perubahan temperatur <i>austenite</i> . |
| | √ | | | √ | | √ | √ | √ | | | | Gurumurthy dkk (2021) | perbandingan kualitas kekuatan mekanik material. |

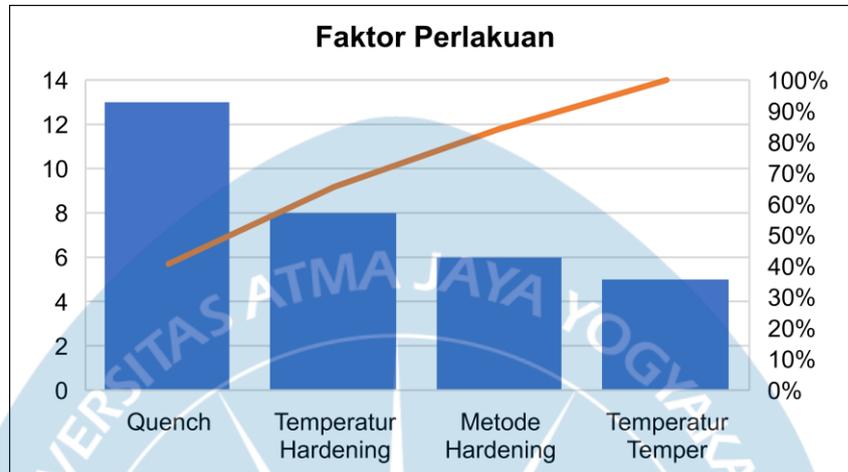
Tabel 2. Pengelompokan pustaka berdasarkan faktor perlakuan dan pengujian (Lanjutan)

| Faktor perlakuan | | | | Faktor pengujian | | | | | | | | Pustaka | Output | |
|------------------|----------------------|--------|-------------------|------------------|--------|-----------|-------------|----------------|---------|----------|-----------|---------|-------------------------|--|
| Metode Hardening | Temperatur austenite | Quench | Temperatur Temper | Tarik | Puntir | Kekerasan | Ketangguhan | Struktur Mikro | Keausan | Distorsi | Lain-lain | | | |
| | √ | | | √ | | √ | | √ | √ | | | | Namdev dkk (2021) | dampak temperatur <i>austenite</i> terhadap nilai kekerasan, kekuatan mekanik, dan ketahanan aus material. |
| | √ | √ | | √ | | √ | √ | √ | | | | | Gurumurthy dkk (2018b) | metode <i>hardening</i> terbaik. |
| | √ | √ | | | | √ | | √ | | √ | | | Nunes dkk (2019) | dampak temperatur <i>austenite</i> dan <i>quench</i> pada distorsi. |
| | | √ | | | | √ | √ | √ | | | | | Bilal dkk (2019) | dampak media pendinginan terhadap kekuatan mekanik, serta membandingkan kualitas material. |
| | | √ | | √ | | √ | √ | √ | | | | | Bakshi dkk (2022) | dampak media pendinginan terhadap kekuatan mekanik. |
| | | √ | | √ | | √ | √ | √ | | | | | Sanij dkk (2012) | metode <i>quenching</i> terbaik. |
| | | √ | | | | √ | | √ | | √ | | | Silva dkk (2012) | evaluasi rambatan pendinginan dan dampak distorsi. |
| | | √ | | | | √ | | √ | √ | | | | Han dkk (2021) | dampak media pendinginan terhadap struktur mikro dan ketahanan aus material. |
| | | √ | | | | √ | | √ | √ | √ | | | Mukhopadhyay dkk (2020) | dampak variasi konsentrat polimer pada nilai kekerasan, ketahanan aus, dan distorsi material. |
| | | √ | | | | √ | √ | √ | √ | | | | Wang dkk (2016) | dampak metode pendinginan terhadap nilai kekuatan mekanik dan keausan material. |

Tabel 2. Pengelompokan pustaka berdasarkan faktor perlakuan dan pengujian (Lanjutan)

| Faktor perlakuan | | | | Faktor pengujian | | | | | | | | Pustaka | Output |
|------------------|----------------------|-----------|-------------------|------------------|----------|-----------|-------------|----------------|----------|----------|-----------|----------------------|--|
| Metode Hardening | Temperatur austenite | Quench | Temperatur Temper | Tarik | Puntir | Kekerasan | Ketangguhan | Struktur Mikro | Keausan | Distorsi | Lain-lain | | |
| | | √ | | | | √ | | | | √ | | Sakthivel dkk (2013) | dampak media pendinginan terhadap nilai kekerasan dan ketahanan aus material. |
| | | √ | | √ | | √ | | √ | | √ | | Nan dkk (2009) | dampak media <i>quench</i> , temperatur <i>quench</i> , dan ketebalan material terhadap distorsi material. |
| | | | √ | | √ | √ | | | | | | Jami dkk (2021) | dampak temperatur temper pada kekuatan mekanik. |
| | | | √ | | | √ | | √ | √ | | | Azizi dkk (2019) | dampak temperatur temper pada kekuatan mekanik. |
| | | | √ | | | | √ | √ | | | √ | Sun dkk (2018) | dampak temperatur temper pada kekuatan mekanik. |
| | | | √ | | | √ | | | | | √ | Kaiser dkk (2020) | dampak temperatur temper pada kekuatan mekanik dan tegangan material. |
| | √ | √ | √ | | | √ | √ | | | √ | | | parameter <i>hardening</i> terbaik berdasarkan kualitas material dan biaya proses |
| 6 | 8 | 13 | 5 | 9 | 1 | 24 | 10 | 20 | 5 | 8 | 3 | | Total |

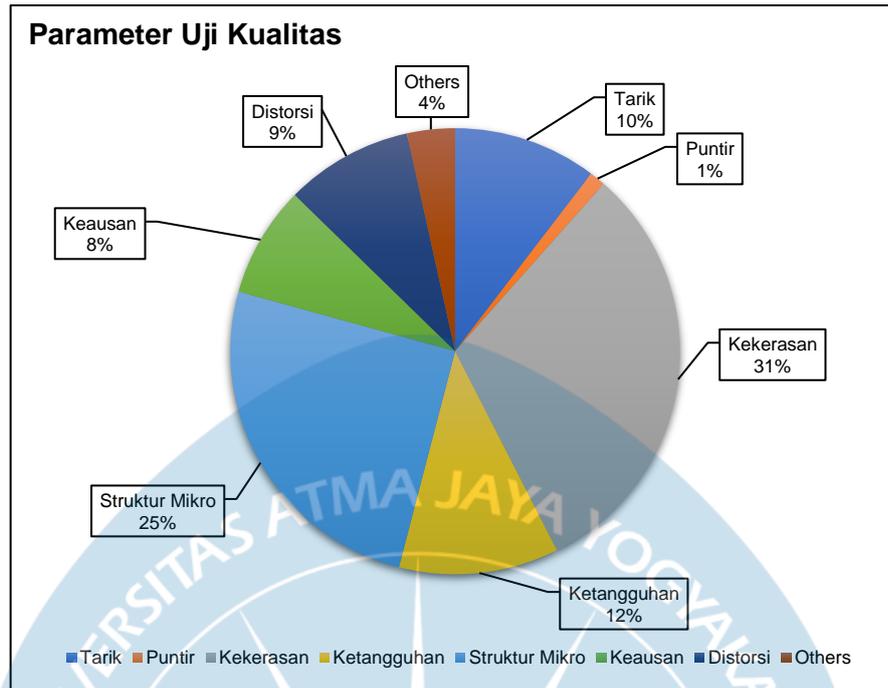
Tabel 2 di atas menunjukkan penelitian yang telah ada menggunakan faktor perlakuan: metode *hardening*, temperatur *austenite*, media *quench*, dan temperatur temper. Gambar 10 menunjukkan kontribusi faktor perlakuan yang diterapkan pada penelitian yang telah ada berdasarkan tinjauan pustaka.



Gambar 10. Kontribusi faktor perlakuan dalam tinjauan pustaka

Hasil ini sejalan dengan pernyataan Rajan dkk (2011) bahwa temperatur *austenite*, waktu tahan, kecepatan pemanasan dan pendinginan, serta temperatur temper merupakan faktor yang mempengaruhi proses *hardening*, sehingga dirujuk sebagai *hardening process variables*.

Tabel 2 juga menunjukkan bahwa pengujian kualitas hasil eksperimen dilakukan dengan menerapkan pengujian mekanik pada spesimen penelitian. Pengujian mekanik dilakukan pada penelitian terkait proses *hardening* karena pengujian tersebut mampu mengungkap perubahan yang terjadi pasca proses *hardening* secara spesifik dan terukur. Pengujian mekanik yang digunakan pada penelitian antara lain: uji kekerasan, uji struktur mikro, uji ketangguhan, uji tarik, uji distorsi, uji keausan, dan uji puntir. Hampir seluruh penelitian yang ditinjau menerapkan pengujian kekerasan dan pengujian struktur mikro sebagai pilihan utama pengujian kualitas. Distribusi jenis pengujian mekanik ditunjukkan pada visualisasi data Gambar 11.



Gambar 11. Proporsi jumlah dan jenis pengujian kualitas

Tinjauan pustaka mengungkapkan bahwa standar uji pengujian kualitas mekanik yang digunakan dalam penelitian antara lain:

- pengujian kekerasan Rockwell-C standar ASTM E18,
- pengujian tarik standar ASTM E8,
- pengujian impact atau ketangguhan Charpy V-Notch standar ASTM E23,
- pengujian *fatigue tests* standar ASTM E647-15,
- pengujian keausan ASTM G99,
- pengujian struktur mikro bervariasi, meliputi: *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Field Emission Scanning Electron Microscopy* (FE-SEM), *Optical Microscopy* (OM) ASTM E407, *X-Ray Diffraction* (XRD), *Electron Back-Scattered Diffraction* (EBSD), *Transmission Electron Microscopy* (TEM),
- pengujian distorsi menggunakan spesimen berbentuk *Navy C-ring* dan/atau spesimen lain dengan bentuk produk orisinal sesuai permasalahan yang diangkat. Pengujian kualitas untuk mengukur distorsi ialah menggunakan *Coordinate Measure Machine* (CMM) dan *digital caliper*.

2.3. Metode dan Faktor dalam Penelitian

Faktor perlakuan yang dipilih ialah 1) temperatur *austenite*, 2) media pendinginan (*quench*), dan 3) temperatur temper. Ketiga faktor tersebut dipilih karena merupakan 3 dari 4 faktor utama *hardening process variables* yang dinyatakan

oleh Rajan dkk (2011). Ketiga faktor tersebut menjadi faktor yang banyak diterapkan pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Artinya, 3 faktor tersebut memenuhi syarat sebagai faktor yang mempengaruhi hasil dari proses *hardening*. Variabel proses *hardening* yang tidak digunakan ialah faktor waktu tahan (*holding time*). Waktu tahan dipengaruhi oleh 2 hal, yaitu temperatur *austenite* yang digunakan dan dimensi ketebalan material. Penelitian ini menggunakan spesimen dengan dimensi tebal yang sama, sehingga waktu tahan proses *hardening* hanya dipengaruhi oleh variasi temperatur *austenite* yang digunakan.

Parameter pengujian yang dipilih ialah 1) uji kekerasan, 2) uji ketangguhan, dan 3) uji distorsi. Pengujian kekerasan dan ketangguhan diidentifikasi sebagai pengujian yang paling sesuai dengan tuntutan kekuatan mekanik komponen mesin. Komponen mesin dituntut memiliki sifat mekanik keras agar tahan terhadap gesekan dan kuat terhadap beban kerja. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan material pasca proses *hardening*. Nilai kekerasan yang tinggi tanpa kegagalan material merepresentasikan keberhasilan proses *hardening*. Pengujian ketangguhan dilakukan untuk mengetahui kekuatan komponen terhadap pembebanan kejut pasca proses *hardening*. Nilai kekerasan yang tinggi akan memberikan sifat getas pada material sehingga nilai ketangguhan material akan menurun. Pengujian ketangguhan dan kekerasan bersifat trade-off atau berkebalikan. Nilai ketangguhan yang tinggi akan mengakibatkan nilai kekerasan yang lebih rendah, dan sebaliknya. Uji ketangguhan dan kekerasan dilakukan untuk memperoleh data kekuatan mekanik material. Data tersebut digunakan sebagai pembanding atau komparasi untuk menentukan nilai kekerasan yang sesuai dengan kekuatan yang dibutuhkan sebuah komponen.

Pengujian distorsi dilakukan dengan tujuan mengetahui resiko kegagalan berupa distorsi yang mungkin terjadi pasca proses *hardening*. Pengujian distorsi digunakan untuk menguji ketepatan faktor temperatur *austenite* dan media pendinginan. Penggunaan temperatur *austenite* dan media pendinginan yang tepat pada proses *hardening* akan meminimalkan resiko distorsi material.

Pengujian distorsi dalam penelitian ini menggunakan spesimen *Navy C-ring*. Pengujian distorsi menerapkan faktor temperatur *austenite*, media *quench*, dan faktor ketebalan spesimen untuk mengetahui seberapa besar distorsi yang terjadi. Hasil pengujian distorsi diharapkan memberikan gambaran resiko yang mungkin terjadi akibat perubahan parameter proses *hardening* dan ketebalan material.

Hasil pengujian distorsi digunakan sebagai pertimbangan kualitas material dan parameter proses *hardening* yang diuji.

Metode perhitungan biaya pada penelitian ini menggunakan *Activity-Based Costing system*. Metode ABC system dipilih berdasarkan kesesuaian antara data proses manufaktur di Divisi *Heat Treatment* dengan data yang dibutuhkan untuk perhitungan biaya ABC system. Perhitungan biaya digunakan sebagai evaluasi efisiensi proses antara parameter proses *hardening* yang lama dan baru, melalui perbandingan *lead time process* pada masing-masing parameter.

2.4. Kontribusi Penelitian

Hasil tinjauan pustaka digunakan pula sebagai dasar menemukan gap antara penelitian yang telah dilakukan dengan kondisi nyata saat ini. Penelitian yang telah dilakukan berfokus pada pengaruh kekerasan dan kekuatan material yang hanya melibatkan 1 atau 2 faktor perlakuan. Penelitian yang telah dilakukan belum mempertimbangkan resiko terjadinya perubahan sifat atau kekuatan mekanik lain yang terkait. Topik pembahasan mengenai pengaruh perubahan parameter proses *hardening* terhadap biaya produksi belum dilakukan pada penelitian yang telah ada. Kesimpulannya ialah pada kondisi nyata saat ini belum dilakukan evaluasi terhadap proses *hardening* material ASSAB 705 dan ASSAB 709 untuk mengetahui apakah parameter yang digunakan saat ini telah menghasilkan nilai kekuatan yang optimal dan biaya produksi minimal. Selain itu, belum ada data komparasi material ASSAB 705 dan ASSAB 709 untuk membantu *design engineer* dalam memilih material dan nilai kekuatan mekanik yang tepat dalam merancang komponen. Data komparasi yang diperlukan meliputi nilai kekerasan maksimal, dengan mempertimbangkan nilai ketangguhan material dan resiko distorsi material.

Terdapat permasalahan hasil penelitian yang berbeda terkait distorsi material yang disebabkan oleh kecepatan pendinginan media *quench*. Menurut Nunes dkk (2019) temperatur *austenite* yang tinggi dan media *quench* dengan pendinginan yang lebih cepat berdampak pada distorsi material yang lebih besar. Penelitian Clark dkk (2014) juga menyimpulkan bahwa pendinginan dengan temperatur yang lebih tinggi (kecepatan pendinginan lambat) menghasilkan tegangan dalam dan distorsi yang minimal. Ray dkk (2020) menyatakan bahwa kecepatan pendinginan *oil* lebih lambat dari pada air memberi keuntungan berupa resiko distorsi yang lebih

kecil karena tegangan dalam yang minimal. Clark dkk (2014), Nunes dkk (2019), dan Ray dkk (2020) sepakat bahwa kecepatan pendinginan tinggi menyebabkan tegangan dalam material yang tinggi, sehingga berdampak pada distorsi material yang besar. Totten dkk (2000) dan Rajan dkk (2011) juga merekomendasikan penurunan laju kecepatan pendinginan untuk menghindari resiko distorsi. Hal ini bertentangan dengan penelitian Nan dkk (2009) yang menunjukkan bahwa distorsi terbesar terjadi pada proses *nitrocarburizing-quench* dengan temperatur terendah, kesimpulannya pendinginan yang lebih cepat menyebabkan distorsi lebih besar. Hasil penelitian Mukhopadhyay dkk (2019) mendukung hasil penelitian Nan dkk (2009), yang menyatakan bahwa pendinginan media air memberikan resiko distorsi yang lebih kecil daripada media *oil*. Artinya, media *quench* dengan pendinginan yang lebih cepat memberikan resiko distorsi yang lebih kecil. Penelitian yang akan dilakukan berkontribusi menjawab dampak kecepatan pendinginan terhadap resiko distorsi material.

Penelitian yang akan dilakukan berkontribusi melengkapi penelitian *heat treatment* material ASSAB 705 dan ASSAB 709 yang telah ada dengan mengkombinasikan 3 faktor utama perlakuan proses *hardening* secara bersamaan. Pengujian kualitas menggabungkan uji kekerasan, uji ketangguhan, dan uji distorsi, untuk memperoleh kombinasi data yang belum pernah dilakukan penelitian sebelumnya. Kekhasan dan kontribusi lain yang diperoleh ialah penelitian ini membahas dan mengidentifikasi pengaruh optimasi faktor proses *hardening* terhadap biaya produksi.