

# Effect of using coolant on mechanical damages in bone drilling process

Rusnaldy<sup>1\*</sup>, P.A.P. Sijabat<sup>2</sup> dan Paryanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Mesin, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Prodi Sarjana (S1) Teknik Mesin, Universitas Diponegoro

\*Corresponding author: rusnaldy@yahoo.com

**Abstract.** Bone drilling is widely used in orthopaedic and surgery to produce hole for screw insertion on direct approach of bone fracture treatment. But this drilling process can cause mechanical damage that can reduce the stability and strength of the fixation. One of the ways to minimize this mechanical damage is by using coolant. The object of this study is to understand the effect of coolant on mechanical damage that occurs in bone drilling and microcracks that occurs in the wall surface of the drilled holes. Adult bovine bones and adult goat bones were used as specimens to represent the variation in microstructure of cortical bone. Five consecutive holes from the distal to the proximal end in each specimen were generated using manual hand-drill (spindle speed = 1000 rpm, drill bit diameter = 4 mm) with the use of coolant as variation. As the result, it was found that the use of coolant can significantly reduce the drilling temperature in both bovine and goat bones. Microcracks, burr formation and delamination were found to be quite large in the drilled holes without coolant. However, there is no microcrack found in the drilled holes with coolant.

**Abstrak.** Penyembuhan patah tulang dengan metode langsung biasanya dilakukan menggunakan pelat, baut dan kawat yang disambung pada tulang yang patah. Pemasangan baut dan pelat ini memerlukan proses *drilling* pada tulang untuk membuat lubang pemasangan baut. Namun proses *drilling* ini dapat mengakibatkan kerusakan pada tulang sehingga akan mengganggu kestabilan proses fiksasi. Salah satu cara untuk meminimalisir kerusakan tersebut adalah dengan menggunakan cairan *coolant*. Tujuan dari studi ini adalah untuk mengetahui pengaruh cairan *coolant* terhadap kerusakan yang terjadi pada lubang yang dibentuk dengan proses *drilling*. Pada studi ini, tulang sapi dewasa dan tulang kambing dewasa digunakan sebagai spesimen uji. Lima lubang pada masing-masing tulang dari daerah distal ke proksimal tulang dibuat dengan menggunakan manual *hand-drill*. Proses *drilling* dilakukan dengan kecepatan spindel sebesar 1000 rpm, menggunakan *drill bit* dengan diameter 4 mm dan serta kondisi proses *drilling* menggunakan *coolant* dan tanpa *coolant* (kering). Dari hasil yang diperoleh terlihat bahwa penggunaan cairan *coolant* sangat efektif menurunkan temperatur proses permesinan dan meningkatkan kualitas lubang hasil proses *drilling* pada tulang. Pada proses *drilling* tanpa menggunakan cairan *coolant*, ditemukan adanya *microcrack*, *burr* dan delaminasi yang cukup banyak. Sementara itu, pada lubang hasil proses *drilling* menggunakan cairan *coolant* tidak ditemukan adanya *microcracks* dan hanya ditemukan adanya *burr* dengan jumlah yang kecil

**Kata kunci:** Proses *drilling*, tulang, kualitas lubang, *burr-formation*, delaminasi dan *microcracks*

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

---

## Pendahuluan

Data statistik pada Korlantas Polri menyatakan bahwa pada tahun 2018 yang lalu, angka kecelakaan lalu lintas sebanyak 107.968 kejadian [1]. Dari jumlah kecelakaan sebanyak itu, sepeda motor masih menjadi jenis kendaraan yang berkontribusi paling banyak dalam kecelakaan lalu lintas. Dan dari sekian banyak jumlah korban kecelakaan sepeda motor, sebagian besar mengalami patah dan *fracture* pada tulang kaki.

Salah satu cara penyembuhan tulang yang patah adalah dengan menyambung tulang tersebut

menggunakan pelat dan baut yang terbuat dari logam agar sambungan tulang tidak bergeser. Diharapkan dengan metode ini, sel-sel baru pembentuk tulang dapat terbentuk pada area yang patah.

Untuk proses penyambungan pelat dan baut pada tulang, langkah pertama yang harus dilakukan adalah membuat sejumlah lubang pada tulang dengan menggunakan proses *drilling*. Ada beberapa resiko yang dapat terjadi akibat digunakannya proses *drilling* dalam membuat lubang pada tulang, seperti patahnya pahat *drill* saat proses *drilling*

berlangsung, kerusakan struktural pada jaringan hidup pada tulang dan *thermal necrosis* [2]. *Thermal necrosis* adalah matinya sel-sel pertumbuhan tulang yang bersifat ireversibel akibat panas yang timbul saat proses *drilling* berlangsung di sekitar area implantasi. Hal ini dapat mengendurkan baut, sehingga fungsinya sebagai pengikat antara pelat logam dan tulang jadi terganggu [3]

Peningkatan temperatur yang terjadi pada *drilling* tulang dapat diatasi dengan penggunaan cairan *coolant*. Menurut Hou et al. penggunaan cairan *coolant* pada saat proses *drilling* tulang dapat menurunkan suhu *drilling* sebesar 30% dibanding *drilling* tanpa menggunakan cairan *coolant* [4]. Augustin et al. melakukan penelitian *drilling* tulang pada babi untuk menganalisa pengaruh parameter *drilling* terhadap peningkatan suhu *drilling*. Mereka menyimpulkan bahwa penggunaan cairan *coolant* pada suhu 26°C merupakan faktor penting dalam menurunkan suhu *drilling* [5].

Selain itu gesekan antara mata bor dan dinding lubang pada tulang dan gesekan antara geram yang dihasilkan dan dinding lubang menyebabkan terjadinya peningkatan temperatur pada dinding lubang dan dapat menyebabkan kerusakan mekanis berupa *microcracks*, delaminasi dan terbentuknya *burr* (*burr formation*) [6]. Kerusakan-kerusakan tersebut akan mempengaruhi kestabilan fiksasi baut dan pelat pada tulang, sehingga proses penyembuhan akan memakan waktu lebih lama. *Microcracks* yang terbentuk dapat merangsang fungsi *self-healing* pada tulang dengan membentuk sel-sel tulang yang baru sehingga retak dapat menutup dan pulih sepenuhnya [7]. Namun jika jumlah *microcracks* cukup banyak, retak-retak tersebut akan saling merambat dan berakumulasi sehingga retak bertambah besar dan tulang dapat menjadi patah. Hal ini terjadi jika akumulasi *microcracks* melebihi batas kemampuan tulang melakukan *self-healing*.

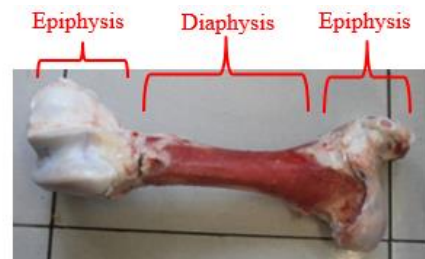
Pada tulang kortikal terdapat struktur silindris yang disebut osteon. Antara osteon yang satu dengan yang lainnya tidak saling berhubungan dan dibatasi oleh *cement line* [8]. Osteon-osteon ini sering dianggap sebagai diskontinuitas pada tulang yang akan menjadi tempat dengan konsentrasi tegangan tinggi yang dapat menimbulkan retak. Namun osteon juga dapat bertindak sebagai penghambat pertumbuhan retak dan menghentikan penyebaran retak.

Pada studi ini diteliti pengaruh penggunaan cairan *coolant* terhadap temperatur yang dihasilkan pada proses *drilling* tulang dan terhadap kerusakan mekanis yang terjadi, seperti *microcracks*, delaminasi dan *burr formation*. Tulang yang digunakan pada studi ini adalah tulang paha sapi tua

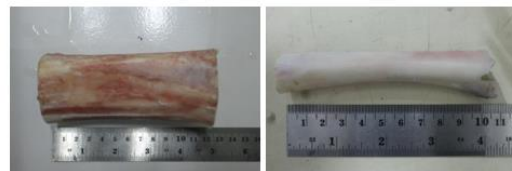
berusia 2-4 tahun dan tulang paha kambing tua berusia 1,5 – 2 tahun. Kedua tulang tersebut memiliki struktur mikro dan kepadatan osteon yang berbeda. Sifat mekanik tulang sapi mirip dengan sifat mekanik tulang manusia sehingga banyak digunakan untuk eksperimen proses *drilling* tulang [9]. Tulang kambing berusia 1,5 tahun dipilih karena struktur mikronya yang mirip dengan struktur mikro sapi muda berusia 6 bulan sehingga dapat merepresentasikan efek dari perbedaan mikrostruktur antara sapi muda dan sapi tua [10]

## Metode Penelitian

Tulang yang digunakan sebagai spesimen benda kerja adalah tulang paha (*femur*) dari sapi berusia 2-4 tahun dan kambing berusia 1,5-2 tahun yang diperoleh dari Rumah Potong Hewan Penggaron, Semarang. Jenis kelamin kedua hewan tidak diketahui. Spesimen tulang sapi dan kambing dipotong dan dibuang bagian *epiphysis*-nya dan hanya menyisakan bagian *diaphysis*, seperti terlihat pada Gambar 1. Untuk menghindari kerusakan, tulang dipotong menggunakan *diamond saw* dengan kecepatan *spindle* rendah disertai penggunaan cairan *coolant* [11]. Hasil pemotongan dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 1.** Bagian spesimen tulang yang dipotong



**Gambar 2.** Spesimen tulang yang sudah dipotong: (a) tulang sapi; (b) tulang kambing

Kemudian sum-sum tulang dibuang dan dibersihkan. Setelah itu spesimen tulang diawetkan untuk mempertahankan sifat termal dan sifat mekaniknya dengan cara direndam dalam cairan salin 0,9%, dan selanjutnya dimasukkan ke dalam plastik kedap udara dan didinginkan pada suhu -20°C hingga dikeluarkan lagi untuk dilakukan eksperimen. Penggunaan cairan salin bertujuan untuk mempertahankan tekanan yang sama pada sel-sel yang ada di bagian luar dan dalam sehingga

kehilangan cairan pada jaringan dapat dicegah [4]. Panjabi et al. menyebutkan bahwa tidak ada penurunan signifikan terhadap sifat mekanis dari tulang manusia yang dibekukan dalam cairan salin selama 7-8 bulan [12]. Hal yang sama disebutkan oleh Roe et al. dalam penelitiannya, bahwa tulang yang dibekukan pada suhu  $-20^{\circ}\text{C}$  selama 8 bulan tidak mengalami perubahan signifikan terhadap sifat mekanis dan sifat termalnya [13]

Set up proses *drilling* dapat dilihat pada Gambar 3. Proses *drilling* menggunakan *hand drill* Kenmaster Impact Drill KNM 500SE dengan putaran spindel yang dapat diatur. Putaran spindel yang digunakan sebesar 1000 rpm dan pada penetration angle  $0^{\circ}$ . Parameter tersebut merepresentasikan parameter operasi tulang secara manual dengan *surgical hand drill* yang digunakan dokter bedah pada operasi *drilling* tulang manusia pada umumnya [14]. *Drill bit* atau mata bor yang digunakan pada studi ini adalah dari jenis *high speed steel* (HSS) dengan diameter 4 mm.



Gambar 3. Proses *drilling*

Cairan *coolant* yang digunakan pada studi ini adalah cairan salin (sodium klorida). Konsentrasi cairan yg digunakan sebesar 0,85-0,9% yang cocok untuk manusia dan hewan mamalia [4]. Tujuan utama penggunaan cairan ini dalam dunia medis adalah untuk mempertahankan tekanan yang sama pada sel-sel yang ada bagian luar dan dalam.

Setelah lubang dihasilkan, kerusakan yang terjadi pada dinding lubang hasil proses *drilling* diamati dengan menggunakan mikroskop endoskopi. Untuk mengamati adanya retak pada dinding lubang, lubang dicelupkan ke dalam larutan *methylene blue*. Apabila terdapat *crack* pada dinding lubang hasil proses *drilling*, larutan *methylene blue* akan meresap ke dalam *crack* tersebut sehingga dapat memudahkan dalam pengamatan menggunakan mikroskop.

### Hasil dan Pembahasan

#### Pengaruh cairan coolant terhadap temperatur *drilling*

Pada setiap tulang dilakukan 5x proses *drilling*, seperti terlihat pada Gambar 4. Pengukuran

temperatur *drilling* dilakukan untuk mengetahui pengaruh cairan *coolant* terhadap temperatur *drilling* yang dihasilkan serta melihat pengaruh temperatur terhadap kerusakan yang terjadi pada dinding lubang yang dihasilkan. Pengukuran temperatur dilakukan menggunakan thermometer inframerah yang diarahkan ke *drill site* saat proses *drilling* berlangsung (lihat Gambar 5). Hasil pengukuran temperatur disajikan pada Tabel 1.



Gambar 4. Lubang hasil proses *drilling*



Gambar 5. Pengukuran temperatur *drilling*

Tabel 1. Hasil pengukuran temperatur *drilling*

Lubang ke-	Temperatur <i>drilling</i> tanpa cairan coolant		Temperatur <i>drilling</i> dengan cairan coolant	
	Sapi	Kambing	Sapi	Kambing
1	34°C	30°C	25°C	24°C
2	35°C	31°C	25°C	25°C
3	40°C	34°C	26°C	24°C
4	38°C	33°C	25°C	25°C
5	38°C	33°C	25°C	25°C

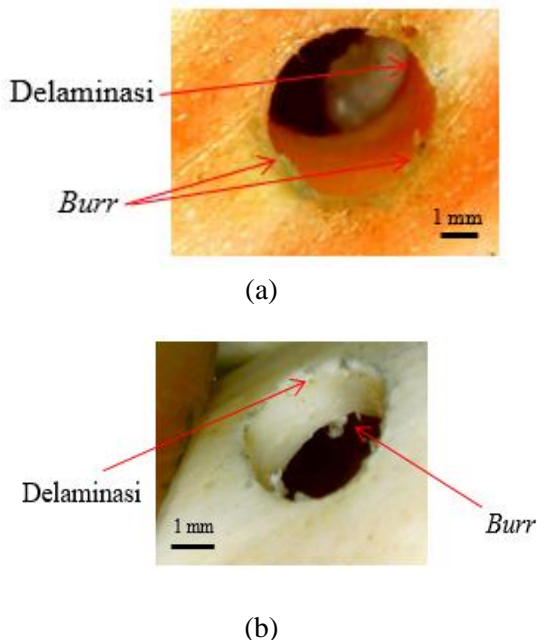
Dari Tabel 1 terlihat bahwa penggunaan cairan *coolant* cukup efektif untuk menurunkan temperatur *drilling*. Pada proses *drilling* yang dilakukan pada tulang sapi, temperatur rata-rata proses *drilling* tanpa menggunakan cairan *coolant* sebesar  $37^{\circ}\text{C}$ .

Sementara jika cairan *coolant* digunakan, temperaturnya turun menjadi rata-rata sebesar 25°C. Hal yang sama terjadi pada proses *drilling* pada tulang kambing dimana rata-rata suhu yang terjadi pada proses *drilling* tanpa *coolant* adalah 32°C sedangkan rata-rata suhu *drilling* menggunakan *coolant* turun menjadi 25°C.

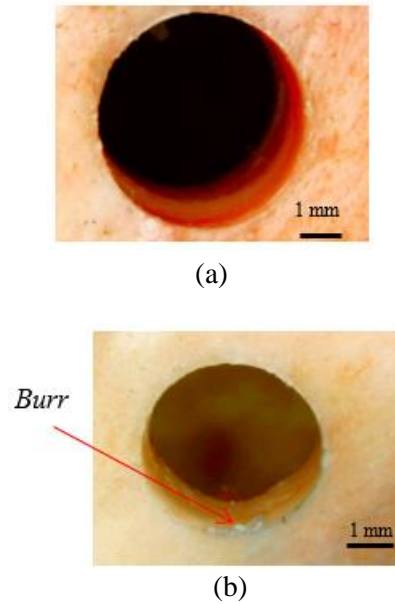
Semua temperatur yang terjadi pada proses *drilling* yang dilakukan masih di bawah batas temperatur yang diizinkan untuk proses *drilling* operasi tulang, yaitu batas suhu yang masih dapat ditahan oleh sul tulang selama satu menit (47°C). Jika temperatur proses *drilling* melebihi batas temperatur tersebut, maka sel-sel tulang akan mati atau mengalami osteonecrosis [3].

**Pengaruh cairan coolant terhadap terbentuknya burr dan delaminasi**

Dari hasil pengamatan mikroskopik, di semua lubang hasil proses *drilling* tanpa penggunaan cairan *coolant* tampak adanya delaminasi dan burr. Selain itu lubang juga tampak tidak bulat sempurna (lihat Gambar 6). Berbeda dengan lubang yang dihasilkan dengan *drilling* menggunakan cairan *coolant* dimana lubang tampak bulat sempurna dan tidak ditemukan adanya delaminasi dan burr pada lubang di tulang sapi, namun masih ditemukan adanya burr pada lubang di tulang kambing (lihat Gambar 7).



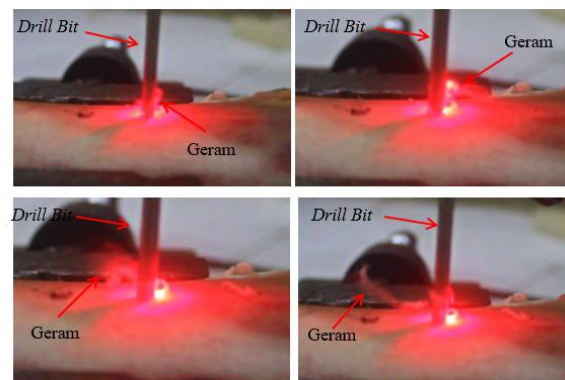
**Gambar 6.** Kualitas lubang pada proses *drilling* tanpa menggunakan *coolant*: (a) pada tulang sapi; (b) pada tulang kambing



**Gambar 7.** Kualitas lubang pada proses *drilling* menggunakan *coolant*: (a) pada tulang sapi; (b) pada tulang kambing

Menurut Pandey dan Panda, pada proses *drilling* tulang, *cutting fluid* mempunyai tiga fungsi utama yaitu fungsi pendinginan, fungsi pelumasan dan fungsi irigasi [3]. *Burr* yang terjadi pada tulang sapi dengan *drilling* tanpa cairan *coolant* terjadi akibat gesekan antara geram dan dinding lubang serta pengeluaran geram yang tidak efektif akibat tidak adanya fungsi pelumasan dan irigasi dari cairan *coolant*.

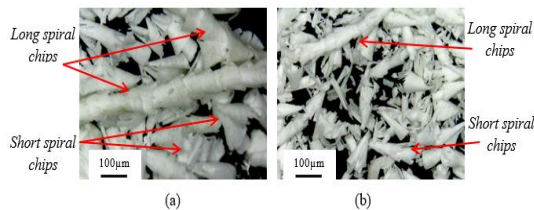
Pengamatan mekanisme pengeluaran geram dilakukan dengan menganalisa rekaman video kamera digital. Hasil pengamatan ditunjukkan pada Gambar 8. Pengamatan dilakukan dari saat *drill bit* menyentuh permukaan tulang sampai proses *drilling* selesai.



**Gambar 8.** Proses pembuangan geram pada proses *drilling* tulang tanpa penggunaan cairan *coolant*

Pada proses *drilling* tanpa cairan *coolant*, geram terlihat bergerak mengikuti jalur spiral sepanjang *drill flute* menuju permukaan tulang dan proses ini berlanjut sampai *drill bit* sepenuhnya menembus spesimen tulang. Akibatnya geram yang terbentuk memiliki geometri *long spiral* (lihat Gambar 9).

Dari video pengeluaran geram terlihat geram tersebut ikut berputar mengikuti *drill bit* di permukaan lubang dan bergesekan dengan permukaan lubang. Gesekan yang terjadi antara geram yang berputar dengan permukaan lubang menyebabkan terjadinya delaminasi dan *burr formation* pada permukaan lubang. Selain itu, geram tampak menutup jalur *drill flutes* sehingga menyebabkan *clogging*. Karena jalur pengeluaran geram tertutup, sebagian besar geram yang tidak bisa keluar dari lubang ikut bergesekan di dalam lubang. Hal ini menyebabkan permukaan dinding lubang memiliki kekasaran yang tinggi dan ditemukan adanya *burr formation* yang cukup besar dan jumlahnya cukup banyak, (lihat Gambar 10). Hasil yang sama ditemukan pada proses *drilling* aluminium alloy, dimana geram yang memiliki geometri *long spiral* menghasilkan gaya potong spesifik yang lebih tinggi dan permukaan dinding lubang memiliki kekasaran permukaan yang tinggi [16].



**Gambar 9.** Geram Tulang pada proses *drilling* tanpa *coolant* (a) Sapi; (b) Kambing

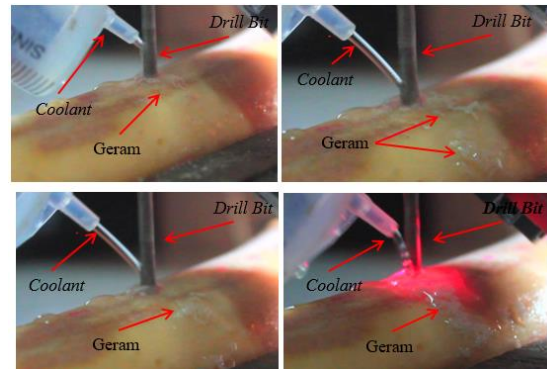


**Gambar 10.** Permukaan dinding lubang tulang sapi tanpa penggunaan *coolant*

Selain itu, ditemukan juga geram tulang yang memiliki geometri *short spiral*. Ini dikarenakan geram yang terperangkap di dalam lubang ikut berputar dengan *drill bit* dan bergesekan dengan dinding lubang. Hal ini menyebabkan terjadinya

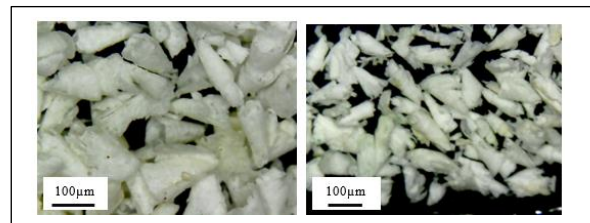
*bending moment* pada geram sehingga geram akan patah membentuk geometri *short spiral*.

Berbeda dengan proses *drilling* tanpa penggunaan cairan *coolant*, pada proses *drilling* menggunakan cairan *coolant* terlihat bahwa proses pengeluaran geram sangat efektif dan tidak ditemukan geram yang bergeometri *long spiral*. Pengamatan proses pengeluaran geram dilakukan dengan menganalisa video proses pemesinan. Hasil pengamatan dapat dilihat pada Gambar 11.



**Gambar 11.** Proses pembuangan geram pada proses *drilling* tulang dengan menggunakan cairan *coolant*

Dari gambar terlihat tidak ada geram yang bergesekan pada permukaan lubang dan geram yang dihasilkan mempunyai geometri *short spiral* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.

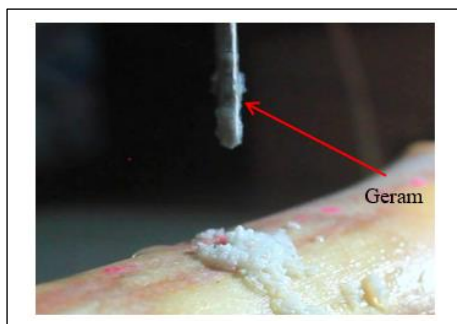


**Gambar 12.** Geram Tulang pada proses *drilling* menggunakan *coolant* (a) Sapi; (b) Kambing

Cairan *coolant* berperan dalam menghentikan laju pembentukan geram sehingga geram yang terjadi tidak dapat bertambah panjang dan berbentuk *short spiral*. Hal inilah yang menyebabkan lubang pada *drilling* menggunakan cairan *coolant* berbentuk bulat sempurna dan tidak ditemukan adanya delaminasi.

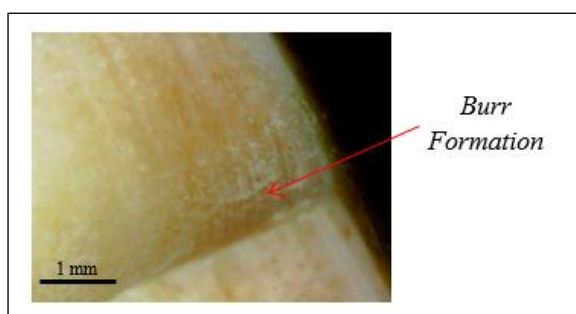
Selain itu, terlihat cairan *coolant* berperan dalam proses evakuasi geram. Fungsi irigasi oleh cairan *coolant* membantu dalam proses pengeluaran geram dan mengurangi gesekan yang terjadi. Hal inilah yang menyebabkan dinding lubang pada *drilling* menggunakan cairan *coolant* memiliki kekasaran permukaan yang rendah dan ukuran *burr* tidak besar. Namun pada dinding lubang masih ditemukan adanya *burr formation*. Ini terjadi

karena adanya geram yang menempel pada *drill bit* dan menutup *drill flutes*. Ketika *drill bit* ditarik dari lubang setelah proses *drilling* selesai, nampak adanya geram yang menempel pada *drill flute* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13. Geram yang menutupi *drill flute* tersebut adalah campuran dari geram dan cairan *coolant* yang membuat geram menjadi lengket dan menempel pada *drill bit*. Hal ini menyebabkan evakuasi geram menjadi sulit dan cairan *coolant* tidak sepenuhnya dapat menjangkau kedalaman lubang.



**Gambar 13.** Geram yang menutup *drill flutes* pada *drilling* menggunakan cairan *coolant*

Seperti yang diperlihatkan pada hasil pengamatan dinding lubang dengan *drilling* menggunakan cairan *coolant*, *burr* pada dinding lubang ditemukan hanya pada bagian dalam lubang dekat jalur keluar *drill bit*. Namun karena cairan *coolant* masih dapat sedikit menjangkau bagian dalam lubang tersebut, maka cairan *coolant* masih dapat memberikan fungsi pelumasan untuk mengurangi gesekan yang terjadi sehingga *burr* yang terbentuk tidak sebesar yang terjadi pada *drilling* tanpa cairan *coolant* [lihat Gambar 14]



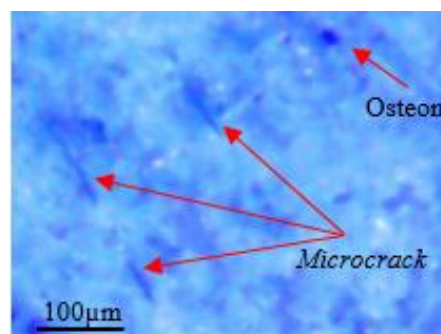
**Gambar 14.** Dinding lubang hasil proses *drilling* menggunakan cairan *coolant*

Kekasaran permukaan dan adanya *burr* pada dinding lubang sangat mempengaruhi kesuksesan operasi orthopedi [17]. Kekasaran permukaan yang baik tanpa adanya *burr formation* atau kerusakan mekanis lainnya pada dinding lubang dibutuhkan untuk menghasilkan sambungan yang kokoh dan kuat antara tulang, baut dan plat. Selain itu,

kerusakan lain seperti delaminasi dapat mengakibatkan sambungan antara baut dan permukaan lubang tidak *fix* dan dapat menyebabkan baut bergerak dari posisi semula. Hal ini meningkatkan resiko kegagalan pada implant sambungan sehingga penyembuhan memakan waktu lebih lama.

### **Pengaruh cairan *coolant* terhadap terbentuknya retak mikro**

*Microcrack* terjadi pada dinding lubang yang mengalami proses *drilling* tanpa menggunakan *coolant* (lihat Gambar 15). *Microcracks* pada dinding lubang hasil proses *drilling* tulang merupakan pengaruh dari energi pemotongan, yang dalam hal ini merupakan representasi dari temperatur pemotongan dan *drilling force* [18]. Energi pemotongan didefinisikan sebagai jumlah energi yang dibutuhkan untuk memproduksi sebuah lubang [3]. Energi pemotongan berhubungan langsung dengan jumlah panas yang terjadi pada proses *drilling*. Energi pemotongan yang rendah merepresentasikan kerusakan mekanis dan kerusakan termal yang rendah sedangkan energi pemotongan yang tinggi menandakan gaya mekanis yang terjadi pada proses *drilling* cukup besar sehingga menghasilkan temperatur pemotongan yang tinggi dan dapat mengakibatkan kerusakan mekanis serta kerusakan termal pada tulang.

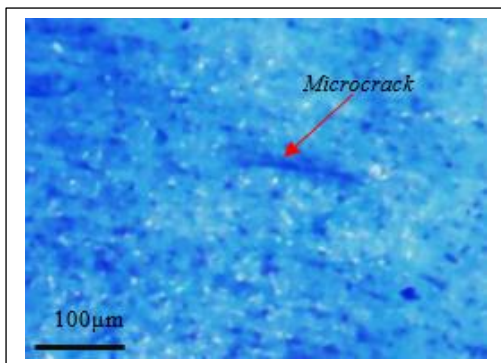


**Gambar 15.** Microcrack pada dinding lubang

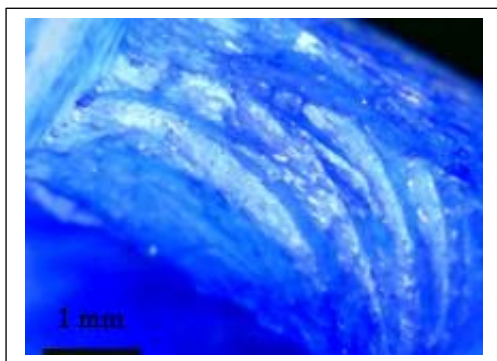
Selain itu, karena adanya *clogging* pada *drill bit* menyebabkan torsi yang dibutuhkan pada proses pemotongan semakin besar dan mempengaruhi gaya aksial pada proses *drilling* sehingga resiko terjadinya *microcracks* pada lubang semakin besar. Semakin rendah torsi *drilling* yang dibutuhkan, maka semakin kecil resiko terjadinya *microcracks* pada lubang hasil *drilling*. Selain itu, semakin kecil gaya pemotongan yang dibutuhkan akan mempermudah dokter dalam mengontrol proses pemotongan pada operasi orthopedi [9]. Semakin besar gaya aksial yang dilakukan pada proses *drilling* tulang akan memicu terjadinya *microcracks* pada

lubang [19]. Terlihat jelas bahwa *coolant* sangat berpengaruh terhadap terbentuknya *microcracks* pada dinding lubang hasil *drilling* tulang.

Namun pada tulang kambing, *crack* masih tetap ditemukan walaupun proses *drilling* sudah disertai penggunaan cairan *coolant* (lihat Gambar 16). Selain itu kerusakan mekanis yang terjadi cukup besar, baik pada proses *drilling* tanpa cairan *coolant* maupun pada proses *drilling* menggunakan cairan *coolant*. Kemungkinan ini terjadi karena kecepatan spindle yang digunakan merupakan kecepatan putar yang rendah (1000 rpm) namun *thrust force* yang dikenakan pada tulang kambing sama besar dengan yang dikenakan pada tulang sapi. Padahal secara mekanis, kekuatan material tulang sapi lebih tinggi dibanding tulang kambing karena kandungan mineral, kalsiumnya yang lebih tinggi. Ini mengakibatkan tulang kambing tidak mampu menahan beban deformasi yang besar akibat dari *feed rate* yang disamakan dengan tulang sapi. Hal ini diasumsikan karena pada dinding tulang kambing, permukaannya sangat tidak rata dan terdapat semacam bekas pemotongan berupa garis diagonal mirip dengan geometri *drill flutes*. Kerusakan mekanis seperti ini dapat dikategorikan sebagai *fracture* atau kegagalan/*failure* seperti yang terlihat pada Gambar 17.



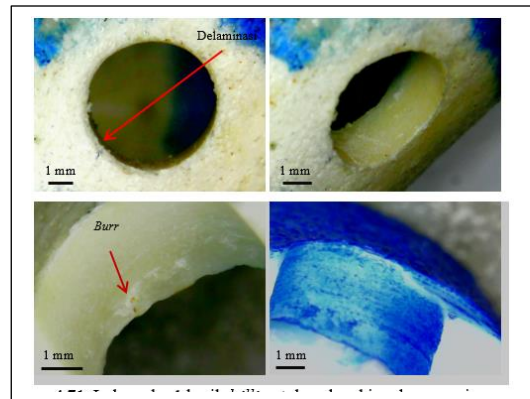
**Gambar 16.** Microcrack pada dinding lubang tulang kambing dengan menggunakan *coolant*



**Gambar 17.** Kerusakan mekanis pada dinding tulang

Ketika parameter *feed* diturunkan untuk melubangi tulang kambing dan cairan *coolant* digunakan, terlihat bahwa lubang berbentuk bulat sempurna, kekasaran permukaan rendah dan tidak ditemukan adanya *crack* pada dinding lubang walaupun masih ditemukan adanya *burr formation* dan delaminasi di beberapa lubang (lihat Gambar 18).

Hasil ini dengan penelitian Ndaruhadi dkk (2015), yaitu pada *spindle speed* yang sama, *feed* yang lebih rendah akan menghasilkan topografi permukaan yang lebih baik dan sebaliknya. Sehingga pada saat proses *drilling* hendaknya menyesuaikan dengan sifat mekanis dari tulang yang akan dilubangi untuk mendapatkan kualitas lubang *drilling* yang baik.



**Gambar 18.** Hasil proses *drilling* tulang kambing dengan *feed* rendah dan menggunakan *coolant*

### Kesimpulan

Dari data yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa penggunaan *coolant* dapat menurunkan temperatur proses *drilling* pada tulang. Penggunaan *coolant* juga dapat mengurangi kerusakan mekanik pada lubang hasil proses *drilling* seperti terbentuknya *burr*, delaminasi dan adanya *microcrack* pada dinding lubang.

### Referensi

- [1] Informasi dari <https://otomotif.kompas.com/read/2019/01/18/082200615> (diakses 16 September 2019)
- [2] Yeager, C., Nazari, A., Arola, D., 2008. Machining of cortical bone: surface texture, surface integrity and cutting force. *Machining Science and Technology* 12 (1), 100-118.

- [3] Pandey, R.K., Panda, S.S., 2013. Drilling of bone: a comprehensive review. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma* 4, 15-30.
- [4] Hou, Y., Li, C., Ma, H., Zhang, Y., Yang, M., Zhang, X., 2015. An experimental research on bone drilling temperature in orthopaedic surgery. *The Open Materials Science Journal* 9, 178-188
- [5] Augustin, G., Davila, S., Mihoci, K., Udiljak, T., Vedrina, D.S., and Antabak, A., 2008. Thermal osteonecrosis and bone drilling parameters revisited. *Archieve of Orthopaedic Trauma Surgery* 128, 71-77.
- [6] Shakouri, E., Hassanalideh, H. H., Gholampour, S., 2017. Experimental investigation of temperature rse in bone drilling with cooling: a comparison between modes of without cooling, internal gas cooling and external liquid cooling. *Journal of Engineering in Medicine* 00 (0), 1-9.
- [7] Taylor, D., and Kuiper, J. H., 2001. The prediction of stress fractures using a stressed volume concept. *Journal of Orthopaedics Research* 19, 919-926.
- [8] O'brien, J., Taylor, D., Lee, T., 2005. The effect of bone microstructure on the initiation and growth of microcracks. *Journal of Orthopaedic Research* 23, 574-480.
- [9] Alam, K., 2009. Experimental and numerical analysis of conventional and ultrasonically-assisted cutting of bone. Thesis. Loughborough University, London, UK.
- [10] Mayya, A., Banerjee, A., and Rajesh, R. 2015. Haversian microstructure in bovine femoral cortces: an adaptation for improved compressive strength. *Material Science and Engineering C : Material for Biological Application* 59, 454-463.
- [11] Yuehuei, H., and Draughn, R. A., 1999. Mechanical testing of bone and the bone-implant interface. CRC Press. New York.
- [12] Panjabi, M. M., Krag, M., Summers, D., and Videman, T., 1985. Biomechanical time tolerance of fresh cadaveric human spine specimens. *Journal of Orthophaedic Research* 3, 292-297.
- [13] Rou, S. C., Pijanowski, G. J., and Johnson, A. L., 1988. Biomechanical properties of cavine cortical bone allograft: effecet of preparation and storage. *American Journal of Veterinary Research* 49, 873-880.
- [14] Noorazizi, M. S., Izamshah, R., and Kasim, M. S.m 2017. Effects of drill geometry and penetration angle on temperature and holes surfaces for cortical bovine bone: an in vitro study. *Procedia Engineering* 184, 70-77.
- [15] Plaskos, C., Hodgson, A. J., Inkpen, K., McGraw, R.W., 2002. Bone cutting errors in total knee arthroplasty. *Journal of Arthroplast* 17 (6), 698-705.
- [16] Batzer, S.A., Haan, D.M., Rao, P.D., Olson, W. W., and Sutherland, J. W., 1998. Chip morphology and hole surface texture in the drilling of cast aluminium alloys. *Journal of Materials Processing Technology* 79, 72-80.
- [17] Singh, G. 2016. Optimization of process parameters for drilled hole quality characteristics during coritcal bone drilling using Taguchi method. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 62, 355-365.
- [18] Wang., Ya., Cao, M., Zhao., Y., Zhou, G., Liu, W., and Li, D. 2013. Experimental investigation on microcracks in vibrational and conventional drilling of cortical bone. *Journal of Nanomaterials* Vol. 2013, 1-5.
- [19] Natali, C., Ingle, P., and Dowell, J., 1996. Othropaedic bone drills – can they be improved? *The Journal of Bone and Joint Surgery* (Br, 78-B(3)