

Perancangan *Micro Mold* dalam Pembuatan *Wax Pattern* pada Proses *Investment Casting* Untuk Aplikasi *Bracket Orthodontic*

Sugeng Supriadi^{1,a}, Tito Winnerson Sitanggang^{2,b*}, Gandjar Kiswanto³, Tjokro Prasetyadi^{4,c}

^{1,2,3}Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia, Indonesia

⁴Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia, Indonesia

email: ^atito_sitanggang@yahoo.com, ^bsugeng@eng.ui.ac.id, ^ctjokroprasetyadi@yahoo.co.id

Abstrak

Meningkatnya kebutuhan akan kesehatan gigi menyebabkan meningkatnya proses pelayanan kesehatan, salah satunya dalam bidang spesialis *Orthodontic*. Dalam penerapan perawatan *Orthodontic*, tidak bisa dipungkiri bahwa ketersediaan *Bracket* akan memudahkan seorang dokter gigi dalam melaksanakan pelayanan. Masalah yang terjadi di Indonesia saat ini adalah seluruh *Bracket Orthodontic* yang digunakan merupakan produk *import*. Paper ini merupakan studi awal pengembangan desain *micro mold* yang bertujuan untuk mendapatkan *Bracket Orthodontic* dengan kualitas yang paling optimal. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan simulasi terhadap aliran *wax* didalam *mold*. Dari penelitian ini diketahui konfigurasi desain *micro mold* yang paling optimal yaitu dengan menggunakan *circular sprue* diameter 5mm dengan panjang 25mm, *rectangular runner* dengan lebar 3mm dan *rectangular in-gate* dengan lebar 0.5mm. *Quality predicition wax pattern* yang dihasilkan menggunakan desain ini adalah *High* (99.56%), *Medium* (0.44%) dan *Low* (0.00%). Besar tekanan *injeksi* yang dibutuhkan adalah 1.901 Mpa dalam waktu 2.973s. Konfigurasi ini merupakan yang paling optimal dan memungkinkan untuk difabrikasi.

Kata Kunci : Desain *Micro Mold*, *Bracket Orthodontic*, *Investment Casting*

Latar Belakang

Saat ini sumber daya obat, perbekalan kesehatan gigi dan instrumen hampir semuanya diimport dan dipasok oleh agen penjualan/pebisnis swasta. Indonesia memiliki jumlah penduduk sebesar lebih dari 210 juta jiwa, prevalensi kasus maloklusi (gigi berdesakan) di Indonesia sebesar 90%. Hal ini merupakan pasar yang potensial untuk industri peralatan medis karena kebutuhan *Bracket Orthodontic* di Indonesia semakin meningkat namun kebutuhan ini masih dipenuhi dari import. Berdasarkan beberapa pernyataan di atas, penelitian ini difokuskan untuk mendorong kemandirian dalam produksi *Bracket Orthodontic* dengan bahan baku lokal serta mendapatkan komposisi dan desain *Bracket Orthodontic* yang sesuai dengan karakter gigi orang Indonesia.

Perkembangan desain dan material braket memberi pengaruh yang signifikan terhadap bidang Ortodontik [1,2]. Telah banyak dilakukan modifikasi pada desain *Bracket* yang klasifikasinya dibagi berdasarkan: lebar *Bracket*, slot *Bracket*, bahan, jenis pergerakannya pada gigi dan metode mengikatnya dengan kawat gigi. Perkembangan desain *Bracket* telah banyak berubah dan sangatlah penting bagi *Orthodontics* mencari inovasi teknologi desain dan bahan *Bracket Orthodontic* untuk menjadi klinisi yang sukses. Inovasi

terhadap desain dan material *Bracket* tersebut akan lebih mudah jika *Bracket Orthodontic* tersebut di produksi di dalam negeri.

Maka bentuk kerjasama multidisiplin dari penelitian ini perlu dikembangkan, yaitu melibatkan tenaga ahli di bidang *Orthodontic*, bidang Dental Material, bidang Teknik Metalurgi dan bidang Teknik Mesin guna merealisasikan produk *Bracket Orthodontic* yang berkualitas. Semoga penelitian ini menjadi sebuah langkah awal untuk menghasilkan sebuah produk dalam negeri yang bermanfaat serta kerjasama multidisiplin yang berlanjut.

Tinjauan Pustaka

Bracket memiliki 3 tipe material yaitu: *stainless steel*, keramik, plastik. Dari ketiganya, jenis material *stainless steel* paling banyak digunakan karena keunggulan dalam kekuatan mekaniknya dibandingkan dengan plastik dan keramik. Selain itu *bracket stainless steel* memiliki friksi yang kecil dibandingkan dengan *Bracket* keramik dan plastik [3].

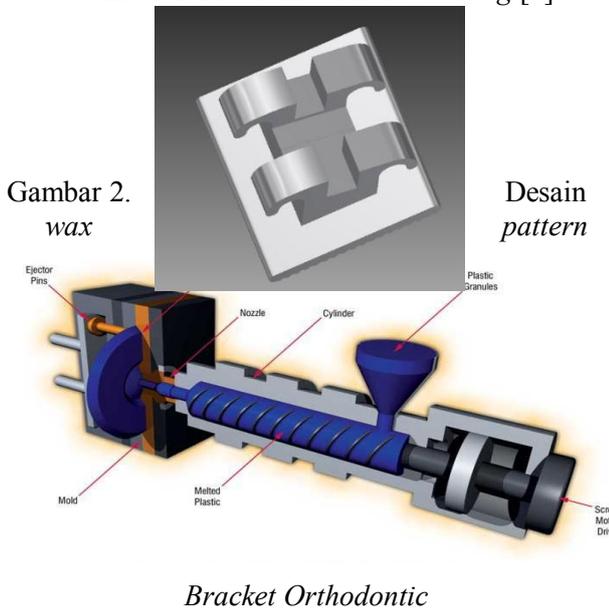
Salah satu cara dalam memproduksi *bracket orthodontic* adalah dengan menggunakan metode *investment casting*. *Investment Casting* yang juga dikenal sebagai *lost wax process* merupakan teknik pengerjaan logam dengan membuat *wax pattern*

terlebih dahulu [4]. *Wax pattern* merupakan replika dari pola komponen yang akan dibentuk. *Wax pattern* dibentuk dari material *wax*. *Wax pattern* kemudian di lapisi dengan *ceramic slurry* lalu dipanaskan sehingga *wax pattern* tersebut meleleh dan tersisa pola rongga/mold sesuai dengan komponen yang akan di bentuk. Gambar 1 memperlihatkan proses investment casting.

Dalam prosesnya *wax pattern* tersebut diproduksi dengan menggunakan mesin *injection molding*. Gambar 2 memperlihatkan desain *wax pattern* akan di produksi. Material *wax* dalam bentuk *powder/granule* dipanaskan sampai meleleh kemudian di injeksi dengan tekanan tertentu kedalam *micro mold*. Mesin *injection molding* dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 1. Proses *Investment Casting* [5]



Gambar 3. Mesin *plastic injection molding* [6]

Metodologi Penelitian

Penelitian ini fokus terhadap optimalisasi desain *micro mold*. Optimalisasi tersebut dilakukan dengan simulasi menggunakan Autodesk Moldflow Simulation. Tabel 1 merupakan deskripsi *properties* material *wax* yang digunakan dalam simulasi.

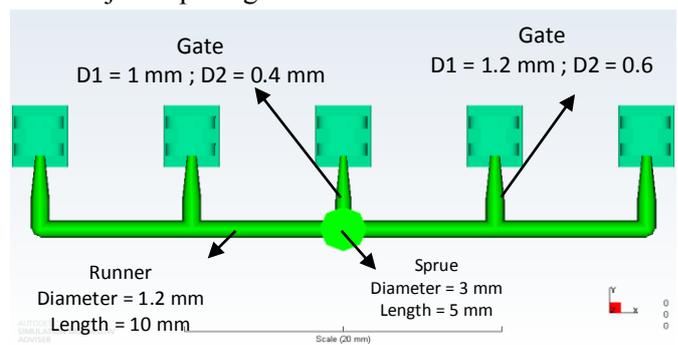
Tabel 1. Deskripsi *Properties Wax*

Description	
Material Structure	Crystalline
Melt Density	1.0561 [g/cm ³]
Solid Density	1.1194 [g/cm ³]
Mold Surf. Temp	20 [°C]
Injection Melt Temp	63 [°C]

Terdapat 4 tipe desain *micro mold* yang disimulasi pada penelitian ini. Perbedaan 4 tipe desain *micro mold* ini terletak pada posisi *cavity*, bentuk serta ukuran *ingate*, *runner* dan *sprue*.

a. Desain *micro mold* tipe 1

Pada tipe ini jumlah *wax pattern* yang akan diproduksi adalah 5 buah. Dengan konfigurasi *circular sprue* (Ø3mm, panjang 5mm) *circular runner* (Ø1.2mm) dan *circular tapered ingate* (Ø1= 1.2mm, Ø2=0.6mm, panjang 3 mm). Jarak antara *cavity* adalah 10mm. Desain *micro mold* ditunjukkan pada gambar 4.

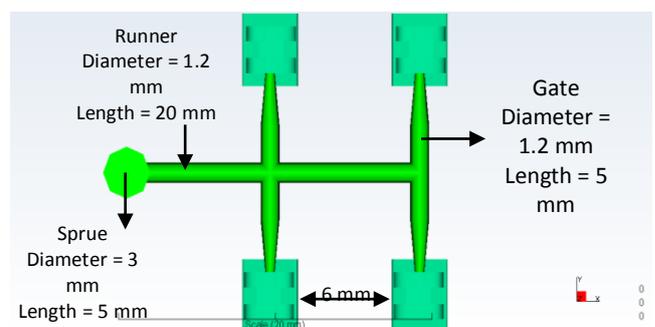


Gambar 4. Desain *micro mold* tipe 1

b. Desain *micro mold* tipe 2

Pada tipe ini jumlah *wax pattern* yang akan diproduksi adalah 4 buah. Dengan konfigurasi *circular sprue* (Ø3mm, panjang 5mm) *circular runner* (Ø1.2mm, panjang 20mm) dan *circular tapered ingate* (Ø1= 1.2mm, Ø2=0.6mm, panjang 5 mm). Jarak antara *cavity* adalah 6mm. Desain *micro mold* ditunjukkan pada gambar 5.

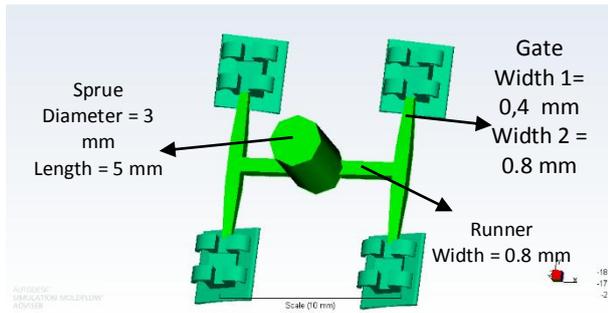
Gambar 5. Desain *micro mould* tipe 2



c. Desain *micro mold* tipe 3

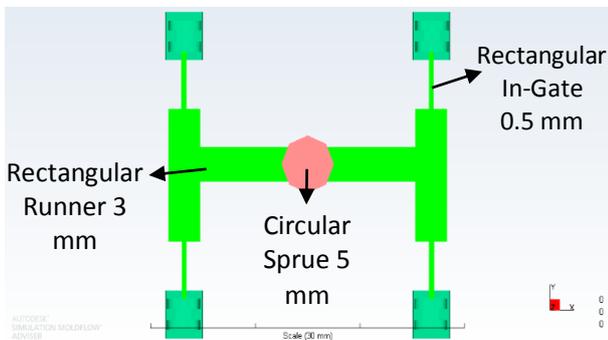
Pada tipe ini jumlah *wax pattern* yang akan diproduksi adalah 10 buah. Dengan konfigurasi *circular sprue* ($\varnothing 3$ mm, panjang 5mm) *rectangular runner* (lebar 0.8mm, panjang 5mm) dan *rectangular tapered ingate* (lebar 1= 0.4 mm, lebar 2=0.8mm, panjang 3 mm). Jarak antara *cavity* adalah 5mm. Desain *micro mold* ditunjukkan pada gambar 6.

Gambar 6. Desain *micro mould* tipe 3



d. Desain *micro mold* tipe 4

Pada tipe ini jumlah *wax pattern* yang akan diproduksi adalah 10 buah. Dengan konfigurasi *circular sprue* ($\varnothing 5$ mm, panjang 25mm) *rectangular runner* (lebar 3mm, panjang 10mm) dan *rectangular ingate* (lebar 0.5 mm, panjang 5 mm). Jarak antara *cavity* adalah 20mm. Desain *micro mold* ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Desain *micro mold* tipe 4

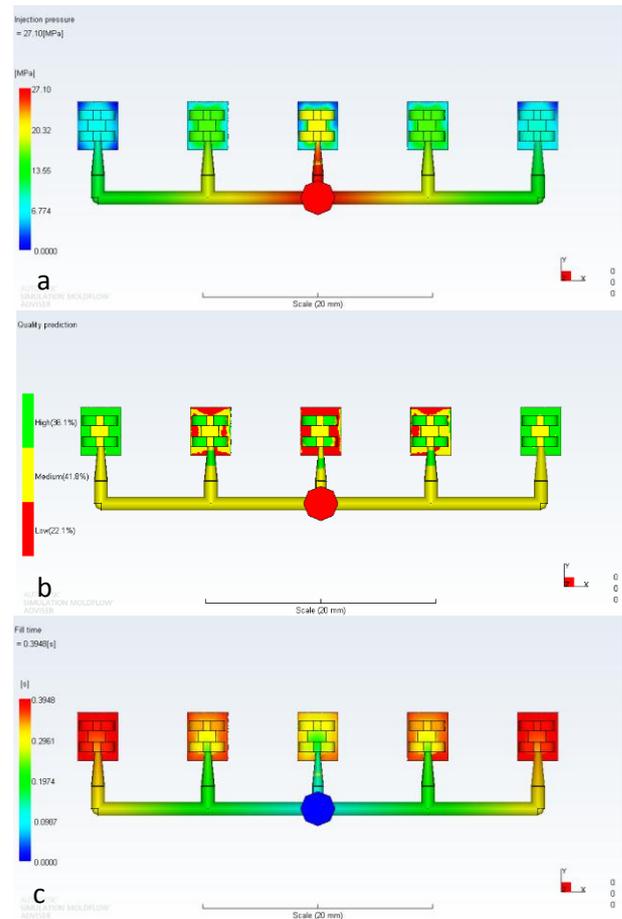
Terdapat beberapa data yang dapat diketahui dari hasil simulasi seperti *Quality Prediction*, *Injection Pressure* dan *Filling Time*. *Quality prediction* merupakan prediksi terhadap hasil dari *wax pattern*, terdapat 3 kategori pada prediksi ini yaitu *High*, *Medium* dan *Low*. Kategori *Low* menunjukkan daerah yang memiliki peluang tinggi terjadi cacat produk. *Injection pressure* merupakan tekanan yang dibutuhkan untuk meng-injeksi material *wax* kedalam *mold*. *Filling time* merupakan waktu yang dibutuhkan untuk meng-injeksi material *wax* kedalam *mold*. Dari hasil simulasi juga dapat diketahui ratio produk dengan *gating* sistem.

Hasil dan diskusi

Konfigurasi *micro mold* sangat berpengaruh terhadap *wax pattern* yang dihasilkan. Berikut hasil dari simulasi yang dilakukan.

1. Hasil Simulasi *micro mold* tipe 1

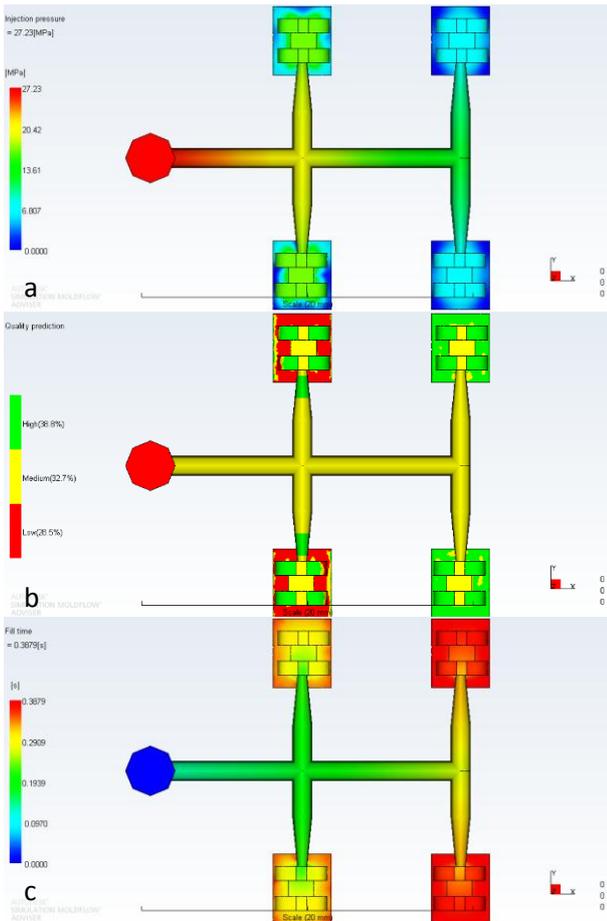
Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa *Quality Prediction* dari desain *micro mould* tipe 1 adalah *High* (36.12%), *Medium* (41.8%) dan *Low* (22.1%). Tekanan yang dibutuhkan untuk meng-injeksi material *wax* pada *micro mold* ini adalah sebesar 27,10 Mpa dengan waktu injeksi yang dibutuhkan berkisar 0.3949 s. Gambar 8 menunjukkan hasil simulasi.



Gambar 8. Hasil Simulasi *micro mold* tipe 1. a) *Quality Prediction* b) *Injection Pressure* c) *Fill Time*

2. Hasil Simulasi *micro mold* tipe 2

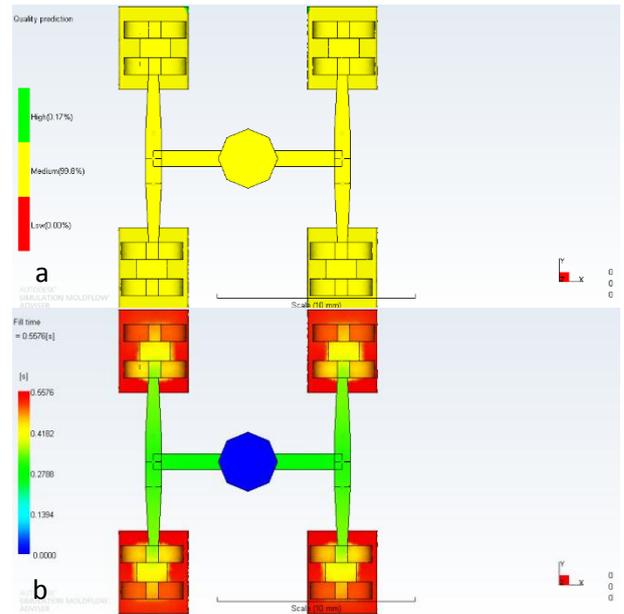
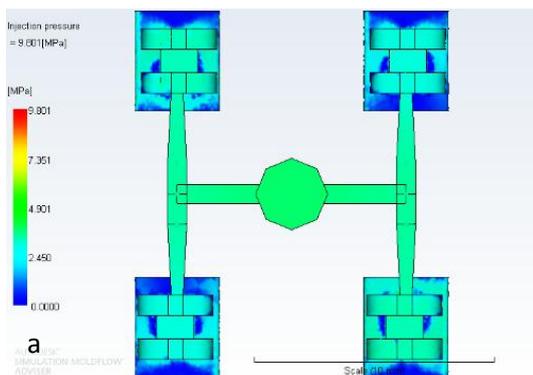
Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa *Quality Prediction* dari desain *micro mould* tipe 2 adalah *High* (38.8%), *Medium* (32.7%) dan *Low* (28.5%). Tekanan yang dibutuhkan untuk meng-injeksi material *wax* pada *micro mold* ini adalah sebesar 27,23 Mpa dengan waktu injeksi yang dibutuhkan berkisar 0.3879 s. Gambar 9 menunjukkan hasil simulasi.



Gambar 9. Hasil Simulasi *micro mold* tipe 2. a) *Quality Prediction* b) *Injection Pressure* c) *Fill Time*

3. Hasil Simulasi *micro mold* tipe 3

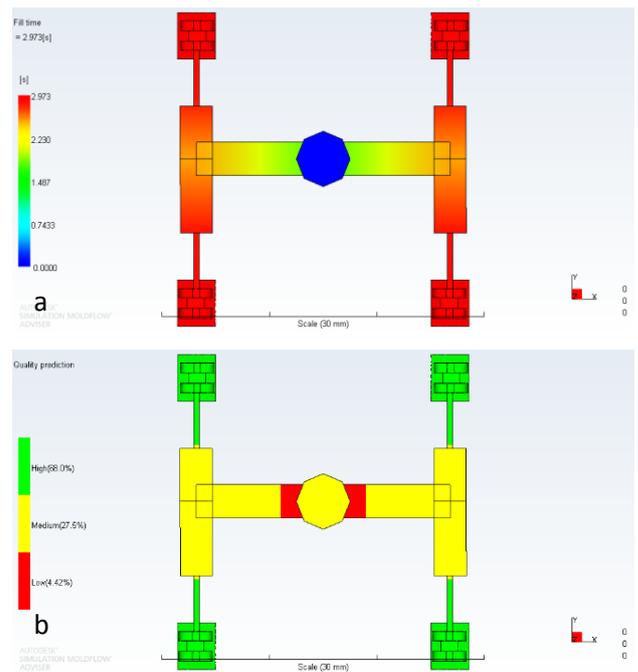
Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa *Quality Prediction* dari desain *micro mould* tipe 1 adalah *High* (0.17%), *Medium* (99.83%) dan *Low* (0.00%). Tekanan yang dibutuhkan untuk menginjeksi material wax pada desain *micro mold* ini adalah sebesar 9.801 Mpa dengan waktu injeksi yang dibutuhkan berkisar 2.973 s. Gambar 10 menunjukkan hasil simulasi.

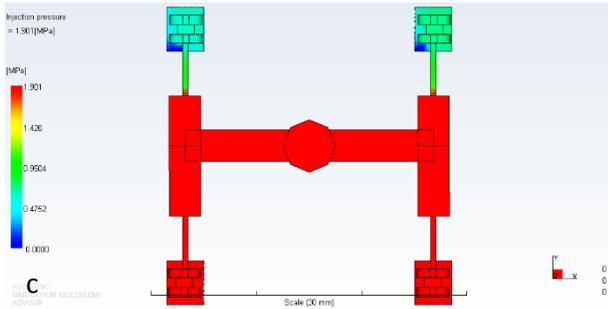


Gambar 10. Hasil Simulasi *micro mold* tipe 3. a) *Quality Prediction* b) *Injection Pressure* c) *Fill Time*

4. Hasil Simulasi *micro mold* tipe 4

Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa *Quality Prediction* dari desain *micro mould* tipe 1 adalah *High* (68%), *Medium* (27.5%) dan *Low* (4.42%). Tekanan yang dibutuhkan untuk menginjeksi material wax pada *micro mold* ini adalah sebesar 1.901 Mpa dengan waktu injeksi yang dibutuhkan berkisar 2.973 s. Gambar 11 menunjukkan hasil simulasi.



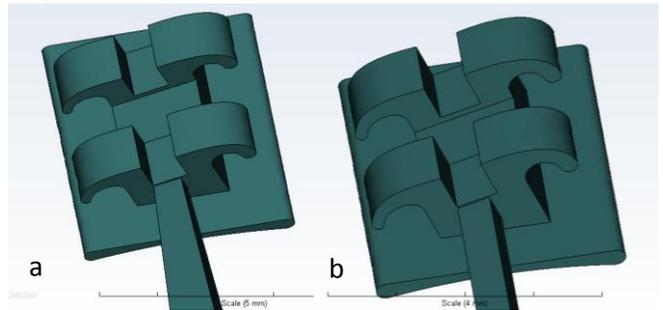


Gambar 11. Hasil Simulasi *micro mold* tipe 4. a) *Quality Prediction* b) *Injection Pressure* c) *Fill Time*

Dari hasil simulasi terdapat fenomena cacat produk. Fenomena ini terjadi pada desain *micro mold* tipe 1 dan tipe 2. Gambar 12 menunjukkan fenomena cacat produk tersebut.

Gambar 12. Fenomena Cacat Produk a) pada tipe 1 b) pada tipe 2

Fenomena cacat produk ini dapat terjadi dikarenakan desain *micro mold* yang tidak optimal sehingga menyebabkan proses solidifikasi cepat terjadi. Selain itu hal ini juga dapat disebabkan karena gaya *injection pressure* yang terlalu kecil. Pada desain *micro mold* tipe 3 dan 4 tidak ditemukan fenomena cacat produk ini. gambar 13 memperlihatkan hasil *wax pattern* pada tipe 3 dan 4.



Gambar 13. Hasil *Wax Pattern Bracket Orthodontic* tanpa terdapat Fenomena Cacat Produk a) pada tipe 3 b) pada tipe 4

Tabel 2. Kesimpulan dari hasil simulasi

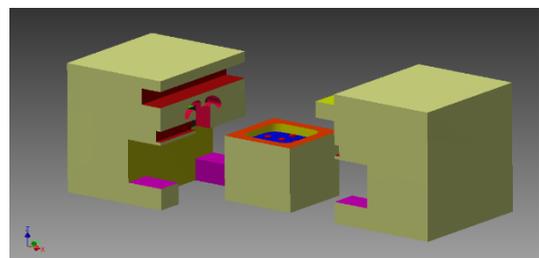
Desain <i>Mold</i>	High	Medium	Low	Injection Pressure	Fill Time	Ratio Product/Gating system
Tipe 1	36.12%	41.8%	22.1%	27.10 [Mpa]	0.3949 [s]	27.51 %
Tipe 2	38.8%	32.7%	28.5%	27.23 [Mpa]	0.3879 [s]	27.86 %
Tipe 3	0.17%	99.83%	0.00%	9.801 [Mpa]	0.5576 [s]	3.75 %
Tipe 4	68%	27.5%	4.42%	1.901 [Mpa]	2.9730 [s]	3.14 %

Dari hasil simulasi terhadap 4 tipe *micro mold*, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi desain *micro mold* tipe 4 merupakan tipe yang paling optimal. Tabel 2 memperlihatkan hasil dari simulasi. Hal ini dapat dilihat dari kategori total seluruh *Quality Prediction* yaitu *High* (68%), *Medium* (27.5%) dan *Low* (4.42%). Namun jika yang dihitung hanya *Quality prediction* terhadap *wax pattern* saja, maka menjadi *High* (99.56%), *Medium* (0.44%) dan *Low* (0.00%). Disamping itu juga besar *injection pressure* yang dibutuhkan hanya 1.901 Mpa, lebih kecil dibandingkan desain *micro mold* lainnya.

Hasil dari simulasi tersebut kemudian menjadi dasar referensi penulis dalam mengembangkan desain *micro Mold* pada fabrikasi *Bracket Orthodontic*.

Desain *micro mold* tersebut dibagi menjadi 2 bagian yaitu *micro mold bracket orthodontic* dan *base* dari *micro mold* tersebut. *Micro mold* kemudian dibagi menjadi 3 bagian yaitu kiri, kanan

dan bawah. Pembagian ini bertujuan untuk mempermudah dalam proses *assembly micro mold* tersebut. Gambar 14 menunjukkan *Micro Mold*.

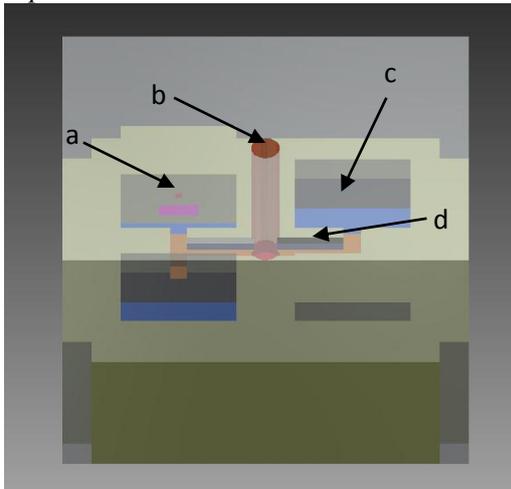


Gambar 14. Komponen *micro mold bracket orthodontic* yang telah di assembly

Base micro mold merupakan fondasi dari seluruh sistem *micro molding* yaitu *runner*, *sprue* dan *in-gate*.

Gambar 15 menunjukkan *base mold* yang sudah di-assembly dengan *micro mold*. Huruf a menunjukkan lokasi *in-gate* dari *micro mold* yang

terhubung dengan *runner* (d). Huruf c menunjukkan fondasi dari *micro mold* dan huruf d menunjukkan lokasi *sprue*.



Gambar 15. *Base mold* yang sudah di-assembly dengan *micro mold*

Kesimpulan

Dalam memproduksi *Bracket Orthodontic* diperlukan ukuran yang detail serta simulasi yang berulang-ulang untuk mendapatkan kombinasi konfigurasi yang optimal. Dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa konfigurasi *micro mould* yang tidak optimal akan menyebabkan cacat produk pada *wax pattern* yang diproduksi. Cacat produk

seperti tidak semua *cavity* terisi dapat disebabkan oleh proses solidifikasi yang terlalu cepat, disamping itu besar tekanan injeksi juga dapat berpengaruh terhadap cacat produk.

Dari penelitian ini telah didapatkan konfigurasi *micro mold* yang paling optimal yaitu dengan menggunakan *circular sprue* ($\text{Ø}5\text{mm}$, panjang 25mm). *Quality prediction wax pattern* yang dihasilkan menggunakan desain ini adalah *High* (99.56%), *Medium* (0.44%) dan *Low* (0.00%). Besar tekanan *injeksi* yang dibutuhkan adalah 1.901 Mpa dalam waktu 2.973s .

Referensi

- [1] Tamizharasi, Kumar S. Evolution of orthodontic brackets. *JIADS* 2010;1 (3 July-september):25-30.
- [2] Flores DA, K.Choi L, Caruso JM, Tomlinson JL, E.Scott G, Jeiroudi MT. Deformation of metal brackets: a comparative study. *The Angle Orthodontikst* 1994;64(4):283-290.
- [3] Wahl N. Orthodontics in 3 millennia. Chapter 16: late 20th-century fixed appliances. *Am J Orthod dentofacial Orthop* 2008;134(6):827
- [4] Information on injectmoldbloggers.blogspot.com
- [5] Mc Cabe JF, Walls AW. *Applied dental Material*. Blackwell Munksgaard 2008:80-83
- [6] Information on www.casting-investment.com