TUGAS AKHIR – TL 184834

STUDI LITERATUR PENGARUH SINTESIS Mo, Si DAN Al SEBAGAI UNSUR *HEATING ELEMENT* UNTUK APLIKASI *HARD MATERIALS*

FEBRI FANANI AKHMADILLAH
NRP. 02511640000077

Dosen Pembimbing
Wikan Jatimurti,S.T.,M.Sc.
Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

TUGAS AKHIR – TL 184834

STUDI LITERATUR PENGARUH SINTESIS Mo, Si DAN Al SEBAGAI UNSUR *HEATING ELEMENT* UNTUK APLIKASI *HARD MATERIALS*

FEBRI FANANI AKHMADILLAH
NRP. 02511640000077

Dosen Pembimbing
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.
Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

FINAL PROJECT – TL 184834

LITERATURE STUDY SYNTHESIS OF Mo, Si AND Al FOR HEATING ELEMENT FOR HARD MATERIALS APPLICATION

FEBRI FANANI AKHMADILLAH
NRP. 02511640000077

Supervisors
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.
Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(*This page is intentionally left blank*)

STUDI LITERATUR PENGARUH SINTESIS Mo, Si DAN Al SEBAGAI UNSUR *HEATING ELEMENT* UNTUK APLIKASI *HARD MATERIALS*

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
FEBRI FANANI AKHMADILLAH
NRP 02511640000077

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.. .....(Pembimbing I)
2. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T. .....(Pembimbing II)

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

SURABAYA
Agustus 2020

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

STUDI LITERATUR PENGARUH SINTESIS Mo,Si DAN Al SEBAGAI UNSUR *HEATING ELEMENT* UNTUK APLIKASI *HARD MATERIALS*

Nama : Febri Fanani Akhmadillah
NRP : 02511640000077
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing I : Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.
Pembimbing II : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

Abstrak

Indonesia merupakan negara penghasil sumber daya mineral terbesar di dunia. Namun, alat untuk mengolah sumber daya mineral dengan temperatur tinggi, ketahanan, ketangguhan, dan penghantar panas yang baik masih terbatas. Alat yang dimaksud tersebut masih impor dari luar negeri dan berasal dari material molybdenum disilicide ($MoSi_2$). Molybdenum disilica ($MoSi_2$) merupakan material yang sangat baik sebagai elemen pemanas karena mampu bertahan hingga temperatur 1800°C-2030°C. Sintesis material $MoSi_2$ sebagai unsur heating element menggunakan bahan seperti molybdenum, silica, dan aluminium dengan komposisi yang berbeda dan teknik sintesis yang berbeda pada setiap penelitian. Dilakukan pengujian untuk mengamati sifat dari $MoSi_2$ yang dihasilkan, pengujian SEM untuk mengamati struktur, morfologi, dan porositas $MoSi_2$, serta pengujian XRD untuk mengetahui fasa kristal dalam material, serta dilakukan pengujian resistivitas listrik terhadap temperatur pada $MoSi_2$ yang akan digunakan sebagai unsur heating elemen. Pada beberapa masalah penelitian yang sudah dilakukan, didapatkan hasil yang berbeda-beda, dikarenakan terdapat perbedaan komposisi bahan dan metode sintesis yang digunakan walaupun tujuan yang diinginkan sama.

Kata Kunci : *$MoSi_2$, Molybdenum, Silica, Aluminium, combustion synthesis, heating element*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LITERATURE STUDY SYNTHESIS Mo, Si AND Al OF HEATING ELEMENT FOR HARD MATERIALS APPLICATION

Student Name : Febri Fanani Akhmadillah
NRP : 02511640000077
Department : Teknik Material dan Metalurgi
Supervisor : Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.
Co-Supervisor : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

Abstract

Indonesia is the world's largest mineral resource producing country. However, tools for processing mineral resources with high temperature, durability, toughness, and good heat conducsers are still limited. The tool in question is still imported from abroad and derived from molybdenum material disilicide ($MoSi_2$). Molybdenum disilicide ($MoSi_2$) is an excellent material as a heating element because it can withstand up to temperature 1800°C-2030°C. Synthesis of $MoSi_2$ material as an element of heating element using materials such as molybdenum, silica, and aluminium with different composition and different synthesis techniques on each research. Conducted testing to observe the properties of the resulting MoSi, SEM testing to observe the structure, morphology, and porosity of the $MoSi_2$, as well as testing XRD to determine the crystal phase in the material, and carried out an electrical resistivity test of temperature in the $MoSi_2$ which will be used as an element of heating elements. In some research problems that have been done, there are different results, because there are differences in the composition of materials and methods of synthesis used even if the desired purpose is the same.

Keywords*: MoSi2, Molybdenum, Silica, Aluminium, combustion synthesis, heating element*

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan berkah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dengan judul "Studi Literatur Sintesis Mo, Si, dan Al sebagai unsur *heating element* untuk Aplikasi *Hard Materials*" untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Strata 1 Program Studi Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS, Surabaya.

Terselesaikannya penyusunan Laporan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan, dukungan, dan bimbingan berbagai pihak. Pada kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.
2. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS
3. Bapak Wikan Jatimurti, S.T., M. Sc., dan Bapak Mavindra Ramadhani, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir atas bimbingannya selama pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. Ibu Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc selaku dosen wali penulis yang senantiasa memberikan arahan selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari penyusunan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini dapat berguna bagi penulis dan semua pihak yang terkait.

Surabaya, 23 Juli 2020
Penulis

Febri Fanani Akhmadillah

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....i
LEMBAR PENGESAHAN.....v
ABSTRAK.....vii
ABSTRACT ix
KATA PENGANTAR xi
DAFTAR ISI xiii
DAFTAR GAMBAR xv
DAFTAR TABEL.....xvii
BAB I PENDAHULUAN
1.1 Latar Belakang.....1
1.2 Perumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan *Review* 3
1.5 Manfaat *Review* 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA
2.1. *Molybdenum Disilicide* ($MoSi_2$) 5
2.1.1 Oksidasi Temperatur Tinggi.....6
2.1.2 Oksidasi temperatur Tinggi 7
2.1.3. Spesifikasi Dan Karakterisasi $MoSiO_2$.....7
2.2. Silika 9
2.2.1. Struktur pada Silika.....10
2.3 *Molybdenum* (Mo) 11
2.3.1 Struktur Pada Molibdenum 12
2.4 Alumunium (Al) 12
2.4.1 Struktur Pada Alumunium.....13
2.5 Perubahan Properti dari Hasil Paduan 14
2.6 Elemen Pemanas.....16
2.6.1 Tipe Elemen Pemanas. 17
2.7 Konduktivitas Termal 20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN
3.1 Diagram Alir.....23
3.2 Bahan Penelitian 25
3.2.1 *Silica Oxide* (SiO_2).....25

3.2.2 *β –Silica Carbide* (β-SiC).....25
3.2.3 *Molybdenum oxide* (MoO_3).....25
3.2.4 *Aluminium* (Al).....26
3.2.5 *Silica* (Si).....26
3.3 Pengujian dan Karakterisasi.....26
3.3.1 Analisis Pengaruh Komposisi Bahan dan Metode Sintesis $MoSi_2$ terhadap Temperatur Reaksi 26
3.3.2 *Scanning Electron Microscope* (SEM)....27
3.3.3 *X-Ray Diffraction* 27
3.3.4 Analisis Resistivitas Listrik terhadap Temperatur Elemen 28
3.4 Metode Penelitian 28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN
4.1 Hasil dan Pembahasan Pengaruh Komposisi Bahan dan Metode Sintesis $MoSi_2$ terhadap Temperatur Reaksi 31
4.2 Hasil dan Pembahasan Pengujian dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) 41
4.3 Hasil dan Pembahasan Pengujian dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) 44
4.4 Hasil dan Pembahasan Pengaruh Metode Sintesis $MoSi_2$ terhadap Resistivitas Listrik ..55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN
5.1 Kesimpulan 57
5.2 Saran 57
DAFTAR PUSTAKA 59
LAMPIRAN 63
UCAPAN TERIMA KASIH 67
BIODATA PENULIS 69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram fasa Mo dan Si 6
Gambar 2.2 *Resitimity of Moly-D Metal* 8
Gambar 2.3 Struktur kristalin dari sebual kristal silika tunggal.....11
Gambar 2.4 Struktur Kristal BCC 12
Gambar 2.5 Struktur kristal FCC 13
Gambar 2.6 Diagram fasa Mo, Si, Al ditemperatur 1500° C 15
Gambar 2.7 Gambar elektron penampang-lintang ER yang tersebar ulang menunjukkan fasa-fasa yang berbeda 15
Gambar 2.8 Elemen pemanas 17
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....24
Gambar 4.1 Efek rasio Si terhadap Mo pada temperatur reaksi pembakaran sistem Mo + Si (1).....36
Gambar 4.2 Efek rasio Si terhadap Mo pada laju reaksi pembakaran sistem Mo + Si (1). Dengan hasil mode pembakaran *spinning combustion* (1), *oscillatory combustion* (2), dan *steady-state combustion* (3).....36
Gambar 4.3 Pengaruh densitas terhadap laju reaksi sistem Mo + Si.....37
Gambar 4.4 Pengaruh ukuran partikel Si terhadap temperatur dan laju reaksi pembakaran sistem Mo + 2 Si (2) 38
Gambar 4.5 Gambaran SEM serbuk Mo-Si setelah (a) 3 jam, (b) 6 jam, (c) 12 jam (d) 24 jam (e) 36 jam dan (f) 48 jam waktu penggilingan. 42
Gambar 4.6 Pola XRD dengan perbedaan temperatur 44
Gambar 4.7 Pola *x-ray diffraction* campuran serbuk Mo-Si setelah berbagai durasi penggilingan (1 jam – 48 jam). 46

Gambar 4.8 Pola *x-ray diffraction* dari campuran serbuk Mo-Si (a) yang di*milling* selama 24 jam (b) yang di*milling* selama 24 jam dengan *annealing* selama 2 jam pada 1000°C 48
Gambar 4.9 Pola *x-ray diffraction* dari campuran serbuk Mo-Si (a) yang di*milling* selama 48 jam (b) yang di*milling* selama 48 jam dengan *annealing* selama 2 jam pada 1000° C. 49
Gambar 4.10 Perbandingan pola XRD Mo dan Si 50
Gambar 4.11 Perbandingan pola XRD Mo dan Si Pada penelitian 51
Gambar 4.12 Gambar pola XRD $MoSi_2$ 53
Gambar 4.13 Pola *x-ray diffraction* (Cu Kα *radiation*) dari spesimen E2 (A: $MoSi_2$; B: α-Al_2O_3; C: β-SiC) 54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 *Mechanical* dan *characteristic of Molybdenum desilicade*.....7
Tabel 2.2 Tabel arus listrik maksimum yang ada pada *heating element* $MoSiO_2$ 9
Tabel 2.3 Bentuk Kristal utama silika 10
Tabel 4.1 Komposisi bahan pada penelitian 31
Tabel 4.2 Perbandingan hasil penelitian masing-masing sampel terhadap laju reaksi dan porositas 32
Tabel 4.3 Hasil pengaruh rasio Mo : Si terhadap temperatur reaksi 34
Tabel 4.4 Sifat fisik bubuk Mo dan Si.....355
Tabel 4.5 Hasil dan variasi pada jurnal yang di *review*.....40

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara penghasil sumber daya mineral yang banyak, sehingga membutuhkan alat untuk mengolah sumber daya mineral tersebut, terutama mengolah dengan temperatur yang tinggi. Masalah yang dihadapi saat ini yaitu terbatasnya alat untuk mengolah sumber daya mineral dengan temperatur tinggi. Alat yang dimaksud tersebut adalah memiliki temperatur tinggi, memiliki sifat ketahanan, ketangguhan, dan penghantar panas yang baik. Namun, di Indonesia alat tersebut masih impor dari luar negeri. Alat yang digunakan berasal dari material *molybdenum disilicide* ($MoSi_2$).

Molybdenum disilicide ($MoSi_2$) adalah logam tahan api dan tahan panas yang digunakan dalam aplikasi elemen pemanas temperatur tinggi, sehingga menjadi bagian struktur yang potensial untuk digunakan pada temperatur tinggi karena memiliki titik lebur yang tinggi, kepadatan rendah, ketahanan oksidasi yang sangat baik, konduktivitas listrik yang tinggi, dan ketahanan korosi yang memadai dibandingkan dengan bahan pemanas logam yang lain, seperti *hard materials*. *Hard materials* adalah elemen khusus yang memiliki dua fase, yaitu fase α yang stabil dan fase β tidak stabil. *Hard Materials* memiliki titik lebur pada temperatur lebih dari 1950^0 C sehingga digunakan sebagai elemen pemanas. Jika dibandingkan antara *hard materials* dengan $MoSi_2$, maka $MoSi_2$ memiliki tipe tetragonal α-$MoSi_2$ yang lebih stabil hingga temperatur 1900^0C.

Pada penelitian sebelumnya, Angelescu (2012) mengkaji tentang pengaruh temperatur sintesis pada proses pembentukan *molydenum disilicide*. Hasil yang didapatkan pada pengujian ini bahwa $MoSi_2$ baru dapat terbentuk pada temperatur 1200°C.

Yao (2014) memberikan pernyataan pada hasil penelitiannya bahwa, $MoSi_2$ adalah material dengan titik leleh tinggi yaitu 2030°C dengan resistensi oksidasi yang sangat baik

dan kepadatan sedang yaitu 6,24g/cm^3, yang sedang digunakan dalam tungku temperatur tinggi karena dapat menahan paparan udara yang lama. Ini adalah sebuah bahan kandidat yang menjanjikan untuk aplikasi struktural temperatur tinggi, khususnya di mesin turbin gas pesawat terbang. Komposit berbasis $MoSi_2$ telah muncul sebagai bahan struktural temperatur tinggi penting untuk aplikasi dalam oksidasi dan lingkungan agresif.

Dan Zumdick (2001) mengkaji mengenai penambahan paduan SiC atau ZrC sebagai *reinforcement* pada *molydenum disilicide*. Keramik seperti SiC atau ZrC dipilih karena mereka memiliki kompabilitas yang baik terhadap *molydenum disilicide*. Hasil yang didapatkan menunjukan bahwa penambahan SiC atau ZrC pada *molydenum disilicide* dapat memperbaiki beberapa sifat mekaniknya. Dan juga $MoSi_2$ + 10% SiC menghasilkan kekuatan dan juga kekerasan tertinggi.

Sehingga pada penelitian ini, dipelajari perubahan sifat dari *heating element* akibat dari pengaruh variabel temperatur diatas 1200°C dan juga pengaruh penambahan Al terhadap material *heating element*. Diharapkan melalui penelitian ini *molydenum disilicide* ($MoSi_2$) dapat memiliki sifat yang lebih tangguh dan tahan akan temperatur yang tinggi.

1.2 Perumusan Masalah

Dari penjelasan latar belakang diatas adapun rumusan masalah yang dapat diambil sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur terhadap material tahan temperatur tinggi dengan paduan Mo, Si dan Al dan morfologi material
2. Bagaimana hasil sintesis Mo.Si dan Al ditinjau dari *resistivitas* listrik pada *element*

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam menjalankan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Kualitas dari material yang digunakan dianggap sesuai.

2. Kondisi lingkungan dianggap tidak berpengaruh.

1.4 Tujuan *Review*

Dari rumusan masalah yang sudah ditetapkan maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis Sintesis material Mo, SiO_2 dan Al untuk teknik sintesis yang digunakan
2. Menganalisis proses pembentukan $MoSi_2$
3. Menganalisis Pengaruh hasil sintesis Mo.Si dan Al ditinjau dari *resistivitas* listrik pada *element*
4. Pengaruh pemberian filler ketika proses sintesis $MoSi_2$

1.5 Manfaat *Review*

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai aplikasi dari *heating element* dan aplikasi lainnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

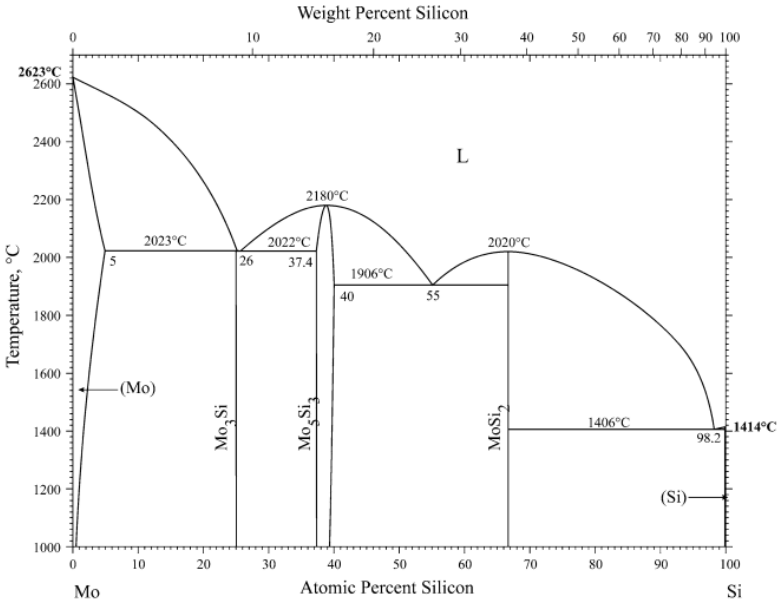
BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Molybdenum Disilicide* ($MoSi_2$)

Molybdenum disilicide ($MoSi_2$) adalah disilika logam tahan api yang khas digunakan dalam aplikasi sebagai elemen pemanas temperatur tinggi dan bagian struktural potensial pada temperatur tinggi karena tingginya temperatur leleh, kepadatan rendah, ketahanan oksidasi yang sangat baik, tinggi konduktivitas listrik dan ketahanan korosi yang memadai dibandingkan dengan bahan pemanas logam yang mahal (Necip, 2019).

Molybdenum disilicide ($MoSi_2$) adalah material dengan titik leleh tinggi (2030° C) dengan resistensi oksidasi yang sangat baik dan kepadatan sedang (6,24g/cm^3), yang sedang digunakan dalam tungku temperatur tinggi karena dapat menahan paparan udara yang lama. Ini adalah sebuah bahan kandidat yang menjanjikan untuk aplikasi struktural temperatur tinggi, khususnya di mesin turbin gas pesawat terbang. Komposit berbasis disilisida molibdenum telah muncul sebagai bahan struktural temperatur tinggi penting untuk aplikasi dalam oksidasi dan lingkungan agresif. Aplikasi potensial saat ini dari bahan berbasis $MoSi_2$ termasuk airfoil turbin, komponen ruang bakar di lingkungan pengoksidasi, nozel rudal, tombak logam cair, pembakar gas industri, busi mesin diesel, dan bahan untuk pemrosesan kaca (Yao, 2014).

$MoSi_2$ diproduksi dengan pencampuran stoikiometrik Mo dan Si, yang dipanaskan hingga Mo dan Si bereaksi menjadi $MoSi_2$. Bahan ditumbuk dan dicampur dengan pengikat dan kemudian diekstrusi menjadi batang. Batang kemudian disinter dalam temperature yang tinggi untuk meningkat massa jenis seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram fasa Mo dan Si (T. Geng, 2010).

Pada Gambar 2.1 dapat dilihat bahwa jika saat pencampuran diberikan Si berlebih maka akan menghasilkan fasa Si murni yang akan membuat titik leleh material menjadi lebih rendah, sedangkan jika diberikan Mo berlebih maka akan membentuk Mo_5Si_3 yang akan membuat material ini lebih cepat mengalami proses oksidasi (Fornmark, 2015).

2.1.1 Oksidasi Temperatur Tinggi

Pada temperature 400 – 700ºC silikon dan *molybdenum* secara bersamaan akan membentuk MoO_3 dan SiO_2 menurut Persamaan 2.1 dibawah ini :

$$2MoSi_2 + 5O_2 \longrightarrow 2MoO_3 + 4SiO_2 \qquad 2.1$$

Dengan tekanan uap yang memadai, MoO_3 menguap, kemudian meninggalkan poros dan *oxide scale* yang tidak protektif. Hal ini memicu percepatan proses oksidasi dah fenomena ini disebut dengan *pesting.* Pada temperatur yang lebih tinggi menyebabkan SiO_2 terbentuk dan memicu proses oksidasi yang lambat (Fornmark, 2015).

2.1.2 Oksidasi temperatur Tinggi

Sharif telah melakukan penelitian mengenai perilaku dari $MoSi_2$ pada temperatur tinggi dengan range dari 1400ºC – 1700ºC. Pada temperatur tersebut SiO_2 dan $MoSi_2$ memilki sifat ketahanan oksidasi yang baik hingga 1700ºC. Hal ini dikarenakan adanya lapisan pelindung SiO_2. Lapisan pelindung SiO_2 menyebabkan penurunan tekanan partial oksigen pada permukaan substrat sehingga menyebabkan selektif oksida dari Si.Hal ini berarti susbtrat dari Si habis dan Mo_5Si_3 terbentuk berdasarkan pada persamaan 2.2 dibawah ini :

$$5MoSi_2 + 7O_2 \longrightarrow Mo_5Si_3 + 7SiO_2 \qquad 2.2$$

(Fornmark, 2015)

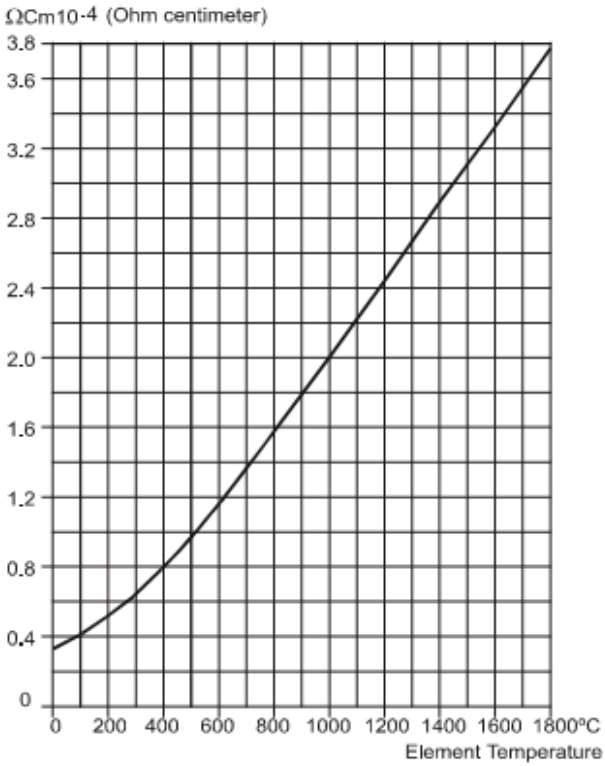
2.1.3. Spesifikasi Dan Karakterisasi $MoSiO_2$

Spesifikasi dan karakterisasi dari $MoSiO_2$ merupakan suatu hal yang penting untuk elemen pemanas tipe temperatur tinggi. Spesifikasi dan karakterisasi ditunjukkan pada Tabel 2.1 dan Gambar 2.2 dibawah ini:

Tabel 2. 1 *Mechanical* dan *characteristic of Molybdenum desilicade*

Properties	Nilai
Density	5.6 g/cm3
Thermal conductivity:	20-600ºC= 30 W/m-ºK 208 BTU/hr-ft2-ºF/i 601-1200ºC= 15 W/m-ºK 104 BTU/hr-ft2-ºF/in

Coefficient of linear expansion	7.5 x 10-6 ºC dan 4.1 x 10-6 ºF
Specific heat capacity at 20ºC	420 J/kg-ºK 0.10 BTU/lb-ºF
Emissivity:	0.70 - 0.80
Resistivity of Moly D material:	*approximately* 10 *between* 20ºC and 1800ºC



$$r = \frac{\rho \times l \times 4}{\pi \times d^2}$$

r = resistance in Ω
ρ = resistivity from above graph
l = hot zone length in cm
d = hot zone diameter in cm
π =3.14

Gambar 2.2 *Resitimity of Moly-D Metal* (Kanthal, 2015)

Tipe elemen pemanas yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi panas menurut Joules Law W = I2R. W = Daya dalam watt, I = Arus dalam ampere, R = Resistansi dalam ohm. *Molybdenum desilicade* meningkatkan resistensi dengan faktor sekitar 10 antara 20º C dan 1800º C. Lihat grafik pada gambar 2.2. Oleh karena itu temperatur zona panas harus diketahui sebelum ketahanan zona panas dapat ditentukan. Kemudian arus maksimum yang disarankan untuk setiap diameter zona panas standar. Zona panas dapat mengambil lebih banyak daya, tetapi ujung yang dingin cenderung terlalu panas dan menyebabkan kegagalan pengikat dan penjepit. Arus listrik maksimum yang ada pada *heating element* $MoSiO_2$ ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Tabel arus listrik maksimum yang ada pada *heating element MoSiO2* (Kanthal, 2015)

Maximum Recomended Ampere					
Hot Zone Diameter in mm	3	4	6	9	12
Current Ampere	75	115	200	365	560

2.2. Silika

Silika adalah keramik temperatur tinggi yang banyak digunakan dalam industri baja dan gelas. Batu silika dibuat dengan membakar kuarsa yang tingkat kemurniannya rendah pada temperatur 1450º C, dan dengan demikian mengkonversi sedikitnya 98,5% bagiannya menjadi campuran tridimit dan kristobalit yang bentuknya lebih terbuka dan kurang padat. Istilah konversi disini ekivalen dengan istilah konversi untuk transformasi alotropi pada material metalik dan merujuk pada transformasi yang karakternya dapat disusun ulang, melibatkan pemutusan dan penggabungan kembali ikatan interatomik. Perubahan zat padat ini

umumnya lambat dan akibatnya strukur kristal sering kali tertahan dalam kondisi metastabil pada temperatur di luar rentang stabilitas nominal (Smallman, 1999).

Silikon dioksida adalah zat amorf, yang diproduksi secara sintetis baik oleh proses termal, menghasilkan silika pirogenik (berasap), atau dengan proses basah, menghasilkan silika terhidrasi, silika diendapkan dan gel silika. Silikon dioksida SiO_2 membentuk hampir 90 persen kerak bumi, itu terkandung sebagai elemen dasar di banyak mineral dan bahan konstruksi, khususnya, kaca, batu bata, dan beton. Revolusi elektronik, transisi dari elektronik vakum ke solidstate elektronik, terutama didasarkan pada kemajuan yang dibuat di teknologi silikon planar menggunakan silikon– yang unik *thermal silicon dioxide system*. Lebih dari 99 persen dari semua perangkat semikonduktor dibuat dari silikon. Silikon dioksida termal SiO_2 adalah isolator utama dalam perangkat silicon. (Nekrashevich, 2014). Bentuk kristal utama silika ditunjukkan pada Tabel 2.3 dibawah ini:

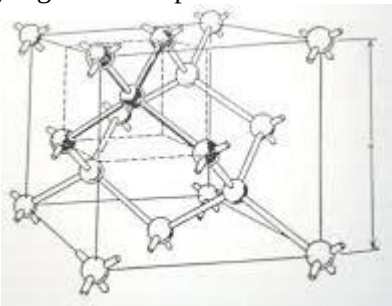
Tabel 2.3 Bentuk Kristal utama silika (Smallman *and* Bishop, 1999)

Bentuk	Rentang stabilitas (°C)	Modifikasi	Kerapatan (kgm^{-3})
Kristobalit	1470-1723 (t.l.)	β__(kubik)	2210
		α__(tetragonal)	2330
		γ__(?)	-
Tridimit	870-1470	β__(heksagonal)	2300
		α__(ortorombik)	2270
Kuarsa	<870	β__(heksagonal)	2600
		α__(trigonal)	2650

2.2.1. Struktur pada Silika

Silika memiliki dua struktur umum yakni *amorf* dan kristalin. Tiga bentuk umum dari silika kristalin yakni kuarsa, tridimit, dan kristobalit. Struktur dari silika bergantung pada temperatur dan tekanan terbentuknya atau pada kasus tertentu

kecepatan pendinginan sehingga padatan silika membentuk struktur yang berbeda. Silika kristalin memiliki struktur yang sederhana seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Si adalah kristal berbentuk *diamond* yang terdiri dari empat atom yang diposisikan pada sudut bangun tetrahedron, yang berikatan secara kovalen dengan Si yang berada di pusat.



Gambar 2.3 Struktur kristalin dari sebual kristal silika tunggal. (Andy *et al.*, 2012)

2.3 *Molybdenum* (Mo)

Molybdenum merupakan elemen No. 42 dari tabel periodik. *Molybdenum* termasuk logam tahan api, elemen yang terjadi secara alami, hanya karbon, tungsten, renium, osmium dan tantalum memiliki titik leleh yang lebih tinggi (Shabalin, 2014).

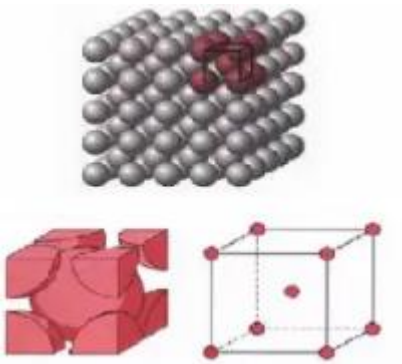
Molybdenum digunakan sebagai tambahan paduan dalam baja, bagian elektronik dan listrik, rudal, bagian pesawat, bagian tungku temperatur tinggi, inti *die casting*, alat kerja panas, termokopel, aplikasi energi nuklir, peralatan tahan korosi, peralatan untuk tungku peleburan kaca dan logam. *Molybdenum* juga digunakan sebagai katalis dalam reaksi kimia (Shabalin, 2014).

Sifat katalitik, elektrokromik, dan fotokromik dari Mo membuat terjadinya karakterisasi struktur terutama struktur nano dari oksida logam transisi dan turunannya. Berbagai keadaan oksidasi dan hidrasi molibdenum oksida, seperti oksida, sub-oksida, peroksida, hidroksida, dan hidrat kristal diketahui. Tiga

polimorf kristal anhidrat yang berbeda. Mo telah dilaporkan mempunyai fase ortorombik yang stabil secara termodinamik α-Mo, β-Mo yang dapat distastasikan,dan fase Mo bertekanan tinggi yang dapat diukur dalam tempertatur tinggi (Chirakkal V, 2009).

2.3.1 Struktur Pada Molibdenum

Molybdenum memiliki struktur kristal BCC. Struktur kristal ini mempunyai atom di setiap sudut kubus ditambah sebuah atom. Atom pusat dikelilingi oleh 8 atom terdekat dan dikatakan mempunyai bilangan koordinasi 8. Ada satu atom utuh terletak di tengah sel satuan dan 1/8 atom terdapat pada tiaptiap sudut sel satuan, sehingga dalam satu sel satuan BCC terdapat 2 atom didalam kubus seperti pada Gambar 2.4.



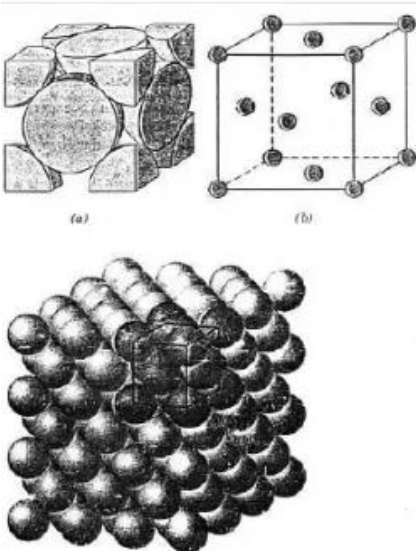
Gambar 2.4 Struktur Kristal BCC (Agus Santosa, 2008)

2.4 Alumunium (Al)

Aluminium adalah logam yang ringan dengan berat jenis 2.7 gram/cm^3. Sekitar 1/3 dari berat jenis baja (7,83 gram/ cm^3), tembaga (8,93gram/ cm^3), atau kuningan. Konduktivitas listriknya 60% lebih dari tembaga sehingga juga digunakan untuk peralatan listrik. Selain itu juga memiliki sifat penghantar panas, memiliki sifat pantul sinar yang baik sehingga digunakan pula pada

komponen mesin, alat penukar panas, cermin pantul, komponen industri kimia dll. Aluminium merupakan logam yang reaktif sehingga mudah teroksidasi dengan oksigen membentuk lapisan aluminium oksida, alumina (Al_2O_3) dan membuatnya tahan korosi yang baik. Aluminum menunjukan ketahanan korosi yang baik pada kebanyakan lingkungan termasuk udara, air (air garam), petrokimia dan lingkungan kimia lainya. Dilihat dari konduktivitas thermalnya adalah antara 50-60 % dari tembaga, bersifat *nonmagnetic* dan tidak beracun. (Surdia .T dan Saito,S., 1995)

2.4.1 Struktur Pada Alumunium



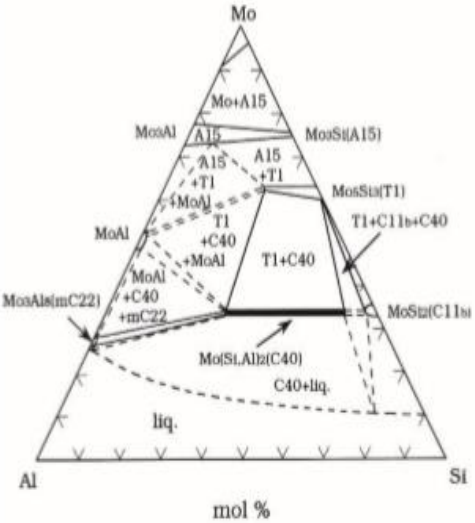
Gambar 2.5 Struktur kristal FCC (Agus Santosa, 2008)

Aluminunium memiliki struktur Kristal FCC seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5. Struktur kristal ini termasuk kristal kubus dimana terdapat atom disetiap sudut kubus ditambah masing-masing satu buah atom di setiap permukaan/sisi kubus. Sel satuan FCC terdiri dari satu titik lattice pada setiap sudut dan satu

titik lattice pada setiap sisi kubus. Setiap atom pada struktur kristal FCC dikelilingi oleh 12 atom, jadi bilangan koordinasinya adalah 12.

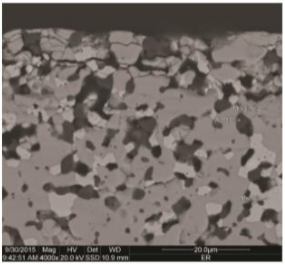
2.5 Perubahan Properti dari Hasil Paduan

Resistensi oksidasi biasanya merupakan faktor pembatas dalam aplikasi temperatur tinggi dan bahan yang paling berguna adalah yang membentuk skala oksida pelindung seperti Al_2O_3, Cr_2O_3 dan SiO_2. Untuk meningkatkan bahan untuk mendorong batas bagaimana bahan yang dapat digunakan. Bahan-bahan yang digunakan harus memiliki sifat mekanik serta ketahanan terhadap oksidasi dan korosi yang sesuai dengan lingkungan tempat akan beroperasi. Sifat-sifat $MoSi_2$ telah diteliti dan diubah dengan menambahkan elemen-elemen paduan seperti Al dan W. Dengan paduan, sifat-sifat seperti ketangguhan patah dan ketahanan mulur telah meningkat secara signifikan. Aluminium dapat ditambahkan ke material, menggantikan silikon sebagian. Senyawa-senyawa ini membentuk lapisan alumina yang stabil yang tidak mengalami volatilisasi dan kekuatan temperatur tinggi ditingkatkan. Selain itu, koefisien ekspansi termal alumina dan Mo $(Si, Al)_2$ serupa, yang menurunkan risiko spallation. Menambahkan aluminium ke $MoSi_2$ meningkatkan perilaku oksidasi pada temperatur rendah, tetapi juga kinerja tekanan parsial oksigen rendah ketika temperatur tinggi. Seperti gambar 2.6 gambar diagram fasa Mo, Si, Al ditemperatur 1500°C



Gambar 2.6 Diagram fasa Mo, Si, Al ditemperatur 1500° C (Fornmark, 2015)

Diagram fasa untuk Mo-Si-Al dapat dilihat pada Gambar 2.6 yang menunjukkan bahwa fasa Mo (Si, Al)$_2$ memilik rentang yang sempit. Ketika diproduksi dengan kelebihan Mo untuk menghindari fase cair. Dapat juga dicatat bahwa jumlah aluminium yang relatif kecil terbentuknya struktur C40 heksagonal.



Gambar 2.7 Gambar elektron penampang-lintang ER yang tersebar ulang menunjukkan fasa-fasa yang berbeda (Fornmark, 2015).

Gambar 2.7 menunjukkan gambar penampang elektron ER, yang merupakan nama komersial untuk Mo (Si, Al)$_2$. Banyaknya bidang yang berbeda-beda menunjukkan bahwa ER adalah bahan tidak homogen yang terdiri dari banyak fase. Bagian gelap adalah alumina, area abu-abu adalah material Mo (Si, Al)$_2$ dan area terang adalah Mo_5Si_3. (Fornmark, 2015)

2.6 Elemen Pemanas

Elemen Pemanas merupakan piranti yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses *Joule Heating*. Prinsip kerja elemen panas adalah arus listrik yang mengalir pada elemen menjumpai resistansinya, sehingga menghasilkan panas pada elemen Gambar mengenai macam-macam bentuk elemen pemanas ditunjukkan oleh Gambar 2.8. Persyaratan elemen pemanas antara lain :

1. Harus tahan lama pada temperatur yang dikehendaki.
2. Sifat mekanisnya harus kuat pada temperatur yang dikehendaki.
3. Koefisien muai harus kecil, sehingga perubahan bentuknya pada temperatur yang dikehendaki tidak terlalu besar.
4. Tahanan jenisnya harus tinggi.
5. Koefisien temperaturnya harus kecil, sehingga arus terjanya sedapat mungkin konstan.
6. Ketangguhan pada elemen pemanas pada saat temperatur tinggi.

Gambar 2.8 Elemen pemanas (Satriya Dwi, 2014).

Hal yang dipertimbangkan dalam pemilihan elemen pemanas:

1. *Maximum Element Surface Temperatur (MET)*
2. *Maximum Power/Surface Loading*
3. Area radiasi permukaan elemen, dinyatakan dalam *(Watt/cm^2)*

Maximum Element Surface Temperatur (MET) adalah temperatur yang dicapai saat bahan elemen mulai mengalami perubahan bentuk atau saat umur hidup bahan elemen menjadi singkat yang mengakibatkan elemen menjadi putus atau hubung singkat. Semakin tinggi *MET* maka akan semakin tinggi pula *Maximum Power Loading* (Muchsin, 2017).

2.6.1 Tipe Elemen Pemanas.

Tiga kelas elemen pemanas yang umum di pakai yaitu:

1. *Metallic*

Metallic element memiliki keuntungan karena tersedia dalam bentuk kawat dan strip, yang memungkinkan mereka akan

dibentuk dan dibuat dengan teknik pembentukan logam konvensional menjadi berbagai bentuk dan ukuran. Selain itu, sistem pemanas yang menggunakan elemen logam dapat dirancang untuk beroperasi dengan tegangan langsung, sedangkan sistem yang menggunakan elemen *SiC* dan *$MoSi_2$* umumnya membutuhkan transformer. *Metallic element* biasanya juga lebih murah daripada elemen SiC dan $MoSi_2$ untuk output daya yang sama. Namun, unsur logam juga memiliki *MET* yang relatif rendah, mereka tidak mandiri dan resistensi dari unsur logam meningkat dengan waktu karena pengurangan penampang oleh oksidasi dan permuluran *(creep)*, menghasilkan output daya yang menurun dan kegagalan akhirnya.

2. *Silicon carbide (SiC)*

Elemen silikon karbida tersedia dalam berbagai bentuk dan ukuran Mereka juga swadaya, yang memungkinkan mereka untuk digunakan dalam tungku yang terlalu lebar atau terlalu panjang untuk direntangkan oleh logam atau elemen pemanas $MoSi_2$. Mereka mampu beroperasi pada temperatur yang lebih tinggi dan beban watt yang lebih tinggi dari metallic element dan relatif mudah berubah saat tungku panas.

Kerugian dari elemen SiC termasuk fakta bahwa mereka membutuhkan peralatan kontrol daya yang lebih mahal dari elemen logam (multi-tap transformer diperlukan); resistensi listrik mereka meningkat seiring waktu (penuaan), artinya lebih banyak perhatian pemeliharaan (penggantian keran transformator dan penggantian grup) diperlukan selain untuk elemen logam atau $MoSi_2$; dan mereka terbuat dari bahan keramik, jadi ada risiko fraktur.

Silicon Carbide (SiC) merupakan material keramik non-oksida yang memiliki tingkat kekerasan,titik leleh, dan konduktivitas termal yang tinggi. SiC dapat disintesis menggunakan prekursor silika (SiO2) dan karbon (C) dengan memanfaatkan SiO2 sebagai sumber silikon (Si). SiC telah disintesis dari sekam padi menggunakan prekursor SiO_2 dan C

dengan metode reduksi magnesiotermik. Sintesis SiC dilakukan dengan mencampurkan SiO_2 dan C pada perbandingan rasio 1:3, kemudian diberi penambahan magnesium (Mg) dengan variasi massa dari 1,0 g, 1,5 g, dan 2,0 g. Selanjutnya, semua sampel dipanaskan dalam furnace pada temperatur 600°C selama 3 jam. Fase terbentuknya SiC diindikasikan dengan warna fisik pada setiap sampel.

3. *Molybdenum Disilicide Element ($MoSi_2$)*

Molybdenum Disilicide Element tersedia dalam berbagai bentuk, ukuran dan fitur temperatur operasi tertinggi dan pemuatan watt elemen yang dipertimbangkan. Mereka juga memiliki ketahanan stabil, yang memungkinkan elemen-elemen baru dan lama dihubungkan secara seri. *Fast thermal cycling* dimungkinkan tanpa degradasi elemen, dan elemen-elemennya relatif mudah untuk diubah selama tungku masih panas. Elemen $MoSi_2$ juga menawarkan umur terpanjang dari semua elemen pemanas listrik. *Molybdenum disilicide* ($MoSi_2$) adalah bahan kandidat yang menjanjikan untuk aplikasi struktural temperatur tinggi. Ini adalah bahan titik lebur tinggi (2030° C) dengan ketahanan oksidasi yang sangat baik dan kepadatan sedang (6,24 g / cm3). Namun, ketangguhan rendah pada temperatur rendah dan tingkat creep tinggi pada temperatur tinggi telah menghambat komersialisasi dalam aplikasi struktural.

Perhitungan daya elemen pemanas menggunakan prinsip hukum ohm, terdapat pada persamaan rumus 2.3 yaitu :

$$P = V \cdot I \qquad 2.3$$

Keterangan:

P	= Daya	(VA)
V	= Tegangan	(Volt)
I	= Arus	(Ampere)

2.7 Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal adalah ukuran kemampuan dari material atau bahan untuk menghantarkan energi. Energi termal dihantarkan dalam zat padat melalui getaran kisi elektron bebas. Dalam konduktor yang baik, dimana terdapat elektron bebas yang bergerak didalam struktur kisi bahan, maka elektron itu, disamping dapat menghantarkan muatan listrik dapat pula membawa energi termal dari daerah bertemperatur tinggi ke daerah temperatur rendah.

Penulisan persamaan konduksi panas dalam bentuk matematik dapat ditetapkan bahwa untuk arah naiknya jarak x merupakan arah aliran panas positif, sesuai dengan hukum kedua termodinamika, panas akan akan mengalir secara otomatik dari titik yang bertemperatur tinggi ke titik yang bertemperatur rendah, maka aliran panas menjadi positif bila gradien bertempur negatif. Sesuai dengan hal ini, persamaan dasar untuk konduksi satu dimensi dalam keadaan stedi ditulis seperti pada rumus 2.4 dibawah ini :

$$Q = - K.A \frac{dT}{dX} \qquad 2.4$$

Keterangan :

Q	= Kalor yang dialirkan	(Watt)
K	= Luas penampang	(m^2)
A	= Kehantaran termal	(Watt/m ^oC)
dT	= Perubahan temperature	(^oC)
dX	= Jarak	(m)

(Kurniawati, 1999)

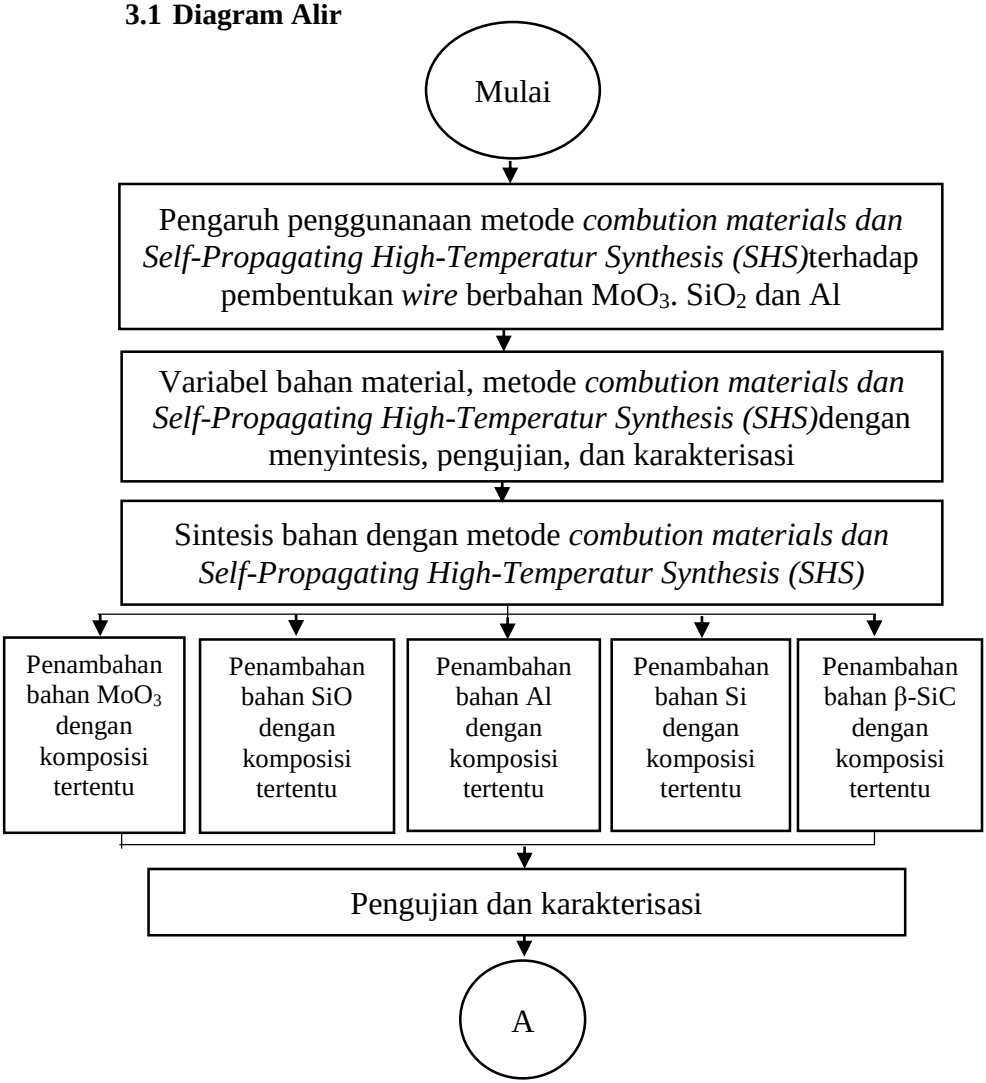
Nilai kondukitivitas termal suatu bahan menunjukkan laju perpindahan panas yang mengalir dalam suatu bahan. Konduktivitas thermal kebanyakan bahan merupakan fungsi temperatur, dan bertambah sedikit kalau temperatur naik, akan tetapi variasinya kecil dan sering kali diabaikan. Jika nilai konduktivitas termal suatu bahan makin besar, maka makin besar

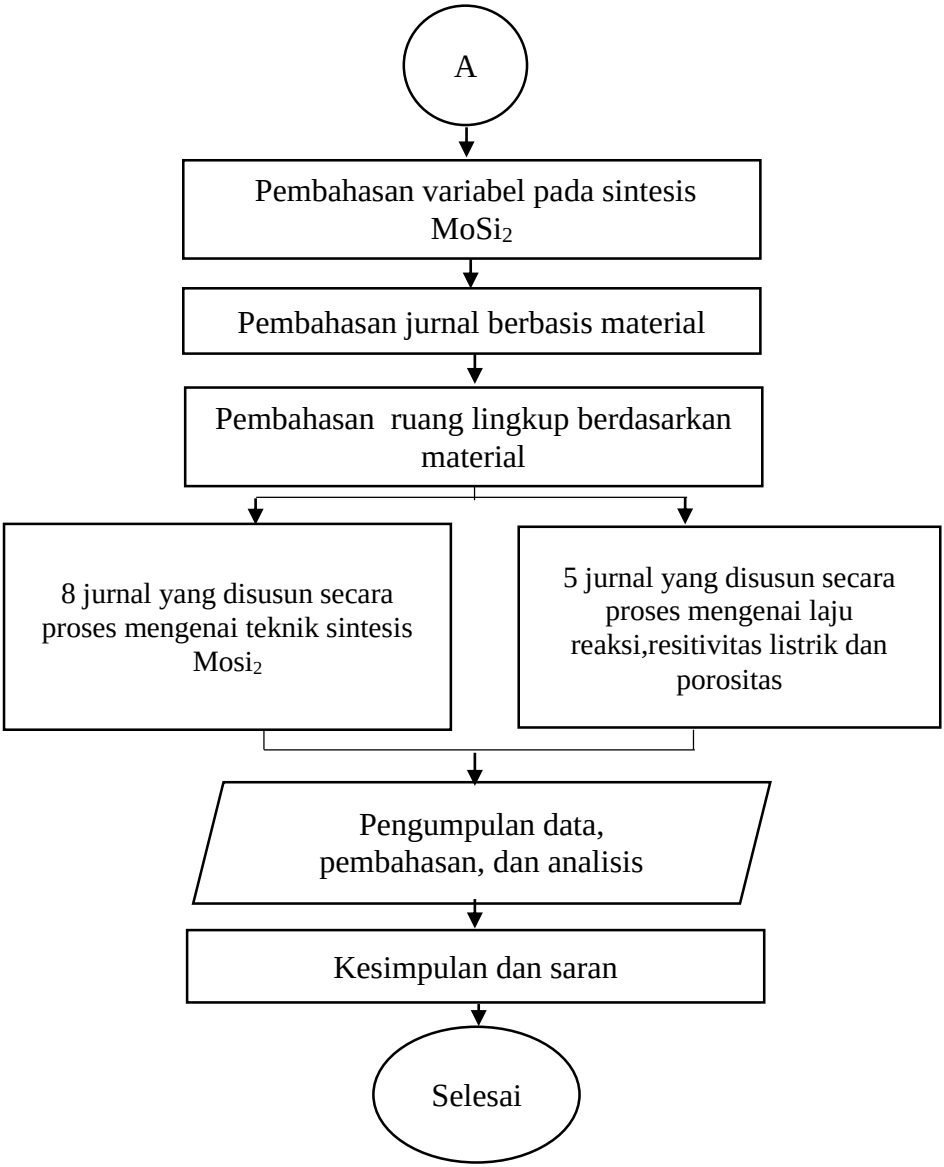
juga panas yang mengalir melalui benda tersebut. Karena itu, bahan yang harga k-nya besar adalah penghantar panas yang baik, sedangkan bila k-nya kecil bahan itu kurang menghantar atau merupakan isolator (Ketut Suarsana, 2017).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini, memiliki sifat kelebihan dan kekurangan, sehingga dikombinasikan untuk saling melengkapi agar dapat digunakan sebagai material pada sintesis $MoSi_2$ sebagai elemen pemanas. Berikut *review* bahan atau material yang digunakan dalam penelitian antara lain :

3.2.1 *Silica Oxide* (SiO_2)

Penelitian ini menggunakan SiO_2 sebagai media *plasticizer* serta sumber pembakaran. SiO_2 memiliki peran atas oksidasi dan ketahanan korosi $MoSi_2$ yang baik. Silikon dioksida SiO_2 membentuk hampir 90 persen kerak bumi, itu terkandung sebagai elemen dasar di banyak mineral dan bahan konstruksi, khususnya, kaca, batu bata, dan beton. Revolusi elektronik, transisi dari elektronik vakum ke solidstate elektronik, terutama didasarkan pada kemajuan yang dibuat di teknologi silikon planar menggunakan silikon– yang unik *thermal silicon dioxide system*. Lebih dari 99 persen dari semua perangkat semikonduktor dibuat dari silikon. Silikon dioksida termal SiO_2 adalah isolator utama dalam perangkat silicon.

3.2.2 *β –Silica Carbide* (β-SiC)

Silica Carbide (SiC) digunakan pada penelitian ini sebagai *filler* atau bahan pengisi. SiC, dipilih karena mempertimbangkan berbagai kriteria seperti resistivitas listrik, ketahanan oksidasi dan ketahanan terhadap goncangan termal ketika dikenakan pemanasan dan pendinginan. SiC dapat memperkuat sifat mekanik dan ketahanan oksidasi dari $MoSi_2$. $MoSi_2$ dan SiC, kompatibel dan stabil secara termodinamik pada suhu tinggi.

3.2.3 *Molybdenum oxide* (MoO_3)

Molybdenum trioksida digunakan pada penelitian sebagai bahan pembentuk $MoSi_2$. Selain itu, MoO_3 sering digunakan sebagai tambahan paduan dalam baja, bagian elektronik dan listrik,

rudal, bagian pesawat, bagian tungku temperatur tinggi, inti *die casting*, alat kerja panas, dan peralatan tahan korosi.

3.2.4 Aluminium (Al)

Aluminium adalah logam yang ringan dengan berat jenis atau densitas yang rendah yaitu, 2.7 gram/cm^3. Aluminium (Al) digunakan dalam penelitian ini karena memiliki sifat mekanik yang baik, dapat memberikan ketahanan terhadap oksidasi pada temperatur tinggi, memiliki sifat penghantar panas, memiliki sifat pantul sinar yang baik sehingga digunakan pula pada komponen mesin, alat penukar panas, cermin pantul, komponen industri kimia dll.

3.2.5 *Silica* (Si)

Silika adalah keramik temperatur tinggi yang banyak digunakan dalam industri baja dan gelas. Sifat kekerasan dan ketahanan terhadap asam yang dimiliki silika, menyebabkan material ini menjadi salah satu pilihan sebagai media filter karena tahan terhadap abrasi dan pH asam, terutama dalam proses filtrasi. Silika memiliki beberapa sifat unik yang tidak dimiliki oleh senyawa anorganik lainnya seperti, sifat adsorpsi dan pertukaran ion yang baik, kestabilan mekanik dan termal tinggi, mudah dimodifikasi dengan senyawa kimia tertentu untuk meningkatkan kinerjanya.

3.3 Pengujian dan Karakterisasi

Pengujian karakterisasi digunakan untuk mengetahui hasil penelitian dan sifat dari sampel $MoSi_2$ yang telah disintesis dengan berbagai perbedaan komposisi bahan untuk diaplikasikan sebagai elemen pemanas

3.3.1 Analisis Pengaruh Komposisi Bahan dan Metode Sintesis $MoSi_2$ terhadap Temperatur Reaksi

Setiap jurnal mempunyai komposisi bahan dan metode sintesis $MoSi_2$ yang berbeda-beda. Temperatur reaksi pembakaran

diukur dengan sistem akuisisi data menggunakan *thermocouple*. *Thermocouple* ditempatkan pada spesimen. Propagasi gelombang pembakaran direkam dengan menggunakan kamera. Selain itu, terdapat jurnal yang ditulis oleh Yeh dan Peng (2016), penelitian mengenai kecepatan gelombang pembakaran ditentukan dengan merekan deret waktu gambar pembakaran dan temperatur pembakaran sampel diukur dengan *thermocouple* yang melekat pada permukaan sampel.

3.3.2 *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Morfologi, struktur, dan porositas permukaan dari sampel diamati dengan menggunakan SEM Supra 50 VP, Zeiss-Germany. SEM merupakan mikroskop yang memanfaatkan berkas elektron untuk mendapatkan informasi. SEM menghasilkan gambar dua dimensi hitam dan putih. Perbesaran gambar dapat mencapai 10 nanometer, meskipun tidak sekuat TEM. Komponen utama SEM yaitu, tiga pasang lensa-lensa elektromagnetik, sumber elektron, dan *imaging detector*. Tiga pasang lensa elektromagnetik berfungsi memfokuskan berkas elektron menjadi sebuah titik kecil, lalu oleh dua pasang scan coil di*scan*-kan dengan frekuensi variabel pada permukaan sampel. Sumber elektron, biasanya berupa filamen dari bahan kawat tungsten atau berupa jarum dari paduan Lantanum Hexaboride LaB6 atau Cerium Hexaboride CeB6, yang dapat menyediakan berkas elektron yang teoretis memiliki energi tunggal (monokromatik). *Imaging detector*, yang berfungsi mengubah sinyal elektron menjadi gambar/*image*.

3.3.3 *X-Ray Diffraction*

Analisis difraksi sinar-X (XRD) dilakukan dengan menggunakan difraktometer Rigaku Rint 2200 Series yang beroperasi pada 30 mA dan 40 kV dengan rentang sudut 2θ dari 20° sampai 90° dan kecepatan penembakan 3°per menit. menggunakan radiasi Cu Kα. *X-Ray Diffraction* digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristal dalam material dengan cara

menentukan struktur dan mendapatkan ukuran partikel yang disintesis.

3.3.4 Analisis Resistivitas Listrik terhadap Temperatur Elemen

Pengukuran resistivitas listrik dari spesimen dilakukan dengan menerapkan sinyal DC dari sumber daya ke elemen. Elemen dipasang secara horizontal dan diuji selama 24 jam untuk mengamati kestabilannya pada temperatur tinggi. Sebelumnya, temperature diukur pada permukaan elemen menggunakan pirometer optik serta *thermocouple* tipe C.

3.4 Metode Penelitian

Penelitian ini membahas tentang sintesis $MoSi_2$ dan Al_2O_3 sebagai unsur dalam *heating element* untuk aplikasi pada *hard materials* menggunakan bahan SiO_2, β-SiC, MoO_3, Al, dan Si. Variabel yang digunakan adalah perbedaan komposisi masing-masing bahan dan teknik sintesis yang digunakan untuk sintesis $MoSi_2$ dan Al_2O_3 pada setiap jurnal. *Review* ini menggunakan 6 jurnal yang dijadikan sebagai data sekunder dan usia jurnal yang digunakan 10 tahun terakhir.

Data yang harus ada pada jurnal yang pertama yaitu, analisis laju reaksi dan porositas sampel produk awal dan produk akhir. Uji laju reaksi dihitung dengan menggunakan dua buah *thermocouple* tipe C yang diberi jarak dan dihitung waktu pembakaran dari *thermocouple* yang satu ke *thermocouple* yang lain. Pengamatan laju reaksi dilakukan dengan tujuan mengetahui pengaruh komposisi masing-masing bahan, terutama bahan *filler* SiC terhadap kelengkapan reaksi, derajat eksotermisitas reaksi, dan akibat yang ditimbulkan dari kecepatan reaksi seperti deformasi, pembentukan retak/*crack* dan pori dalam spesimen. Kemudian, porositas diukur dengan *pycnometer* helium untuk mengetahui pengaruh komposisi bahan terhadap porositas sampel. Analisis struktur, morfologi, dan porositas permukaan sampel juga diamati dengan menggunakan SEM. Kemudian uji XRD dilakukan untuk

mengetahui fasa bahan pada sintesis $MoSi_2$ dengan menggunakan komposisi bahan yang berbeda pada setiap jurnal.

Data yang didapatkan dari jurnal kemudian kemudian dianalisa apakah hasil sintesis $MoSi_2$ dan Al_2O_3 dari masing-masing jurnal mempunyai sifat yang dapat digunakan sebagai unsur dalam *heating element* pada aplikasi *hard materials.* Dilihat dari komposisi setiap bahan yang digunakan untuk sintesis $MoSi_2$ dan Al_2O_3.

Dari hasil analisa, didapatkan kesimpulan berupa komposisi bahan memengaruhi sifat dan hasil dalam sintesis $MoSi_2$ sebagai unsur dalam *heating element*. Berikut terlampir jurnal yang digunakan menjadi bahan *review* ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jurnal yang digunakan *review*

Tahun	Nama Jurnal	Judul	Penulis
2019	Ceramics International	Combustion synthesis of SiC-MoSi2-Al2O3 composites	Canarslan, N. dan Canarslan, Ö
2016	Metals	Combustion Synthesis of MoSi2-Al2O3 Composites from Thermite-Based Reagents	Yeh, Chung-Liang dan Peng, Je Ann
2014	International Journal of Refractory Metals and Hard Materials	Synthesis of dense mullite/MoSi2 composite for high	Zaki, Z., Mostafa, N. and Ahmed, Y.

		temperature applications	
2014	University of Salford	Molybdenum	Shabalin, Igor L
2014	Physics of the Solid State	Electronic Structure of Silicon Dioxide	Nekrashevich, S S dan Gritsenko, V. A.
2016	J Therm Anal Calorim	Microstructure and thermal characteristics of SiC–Al2O3–Nicomposite for high-temperature application	Pędrak, P., Drajewicz, M., Dychtoń, K. and Nowotnik, A.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil dan Pembahasan Pengaruh Komposisi Bahan dan Metode Sintesis $MoSi_2$ terhadap Temperatur Reaksi

$MoSi_2$ adalah bahan bertemperatur tinggi karena kepadatannya (6,31 g / cm3) dan dapat digunakan pada temperatur tinggi karena $MoSi_2$ memiliki titik lebur tinggi yaitu 2020°C. Selain itu, $MoSi_2$ memiliki ketahanan oksidasi yang baik pada temperatur tinggi (Simanjuntak *et al.*, 2017). $MoSi_2$ mempunyai sifat termal, listrik dan kimia yang unik, dan kepadatannya moderat, $MoSi_2$ telah mendapat perhatian dari banyak penelitian. Meskipun sifat mekaniknya lemah, tetapi $MoSi_2$ menjadi bahan struktural temperatur tinggi yang penting untuk aplikasi khususnya sebagai elemen pemanas dalam temperatur tinggi (Zaki *et al.*, 2014).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Canarslan *et al.* (2019) tentang pemberian SiC sebagai *filler* pada proses sintesis $MoSi_2$ dengan teknik *combustion syntesis*. Material dan komposisi bahan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4. 1 Komposisi bahan pada penelitian (Canarslan, 2019).

Nomor Sampel	*Combustible Material* (wt%)				*Filler Material* (wt%)
	MoO_3	Al	Si	SiO_2	β-SiC
E1	15.65	9.78	3.04	6.52	65.00
E2	17.89	11.16	3.48	7.45	60.00
E3	20.12	12.58	3.91	8.38	55.00
E4	22.36	13.97	4.35	9.31	50.00
E5	24.60	15.37	4.78	10.25	45.00

SiC dipilih dengan mempertimbangkan berbagai kriteria seperti resistivitas listrik, ketahanan oksidasi dan ketahanan terhadap *thermal shock* saat dikenakan pemanasan dan

pendinginan. Pada penelitian ini, diagram reaksinya pada 4.1 sebagai berikut:

$$SiC + (MoO_3 + 10/3\ Al + Si + SiO_2) \rightarrow SiC + MoSi_2 + 5/3\ Al_2O_3 \quad 4.1$$

Filler *combustible material* *final product*

Canarslan, 2019 melakukan penelitian dengan teknik pembakaran atau *combustion synthesis technique* untuk mensintesis $MoSi_2$ sebagai *heating element*. Reaksi pembakaran dilakukan dengan menggunakan *propane torch* pada beberapa sampel dengan komposisi bahan yang berbeda (seperti ditunjukkan pada tabel 4.1). Hasil penelitian tersebut, dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Perbandingan hasil penelitian masing-masing sampel terhadap laju reaksi dan porositas

Sampel	Komposisi β-SiC (wt%)	Hasil Laju Reaksi (cm/s)	Hasil Porositas Sampel (vol%)	
			Sebelum Reaksi	Sesudah Reaksi
E1	65	0,26	31,4	35,2
E2	60	0,34	32,8	40,1
E3	55	0,45	34,8	41,6
E4	50	0,58 (tidak dapat diukur dengan tepat)	32,1	43,3 (tidak dapat diukur dengan tepat)

E5	45	Tidak dapat dilakukan pengukuran	30,1	Tidak dapat dilakukan pengukuran

Pada penelitian tersebut, hasil laju reaksi pembakaran menunjukkan adanya peningkatan secara drastis ketika konsentrasi bahan pengisi SiC menurun. Hasil tersebut memberikan arti bahwa, semakin rendah jumlah konsentrasi berat dari *filler* (β-SiC), maka laju reaksinya semakin meningkat. Konsentrasi *filler material* (SiC) sangat penting untuk mengontrol reaksi dan melengkapi reaksi. Pada hasil penelitian tersebut, menunjukkan bahwa jumlah optimal konsentrasi *filler* (SiC) adalah sekitar 60 wt% (spesimen E2). Reaksi pada spesimen E2 menghasilkan produk berbentuk *net-shape* dengan tingkat porositas yang relatif rendah dan konversi penuh pada reaksi. Sedangkan dengan pemberian bahan *filler* SiC dibawah 55 wt% (spesimen E4 dan E5), reaksi dari *combustible materials* (Al, MoO_3, Si, SiO_2) mempunyai laju reaksi yang sangat tinggi, sehingga menyebabkan pelepasan gas padat. Kondisi ini, menyebabkan terjadinya deformasi, pembentukan retak/*crack* dan pori dalam spesimen. Terutama pada spesimen E5, tidak dapat dilakukan pengukuran kecepatan pembakaran dan tingkat porositas, karena sampel dalam keadaan eksplosif.

Hasil temperatur reaksi pembakaran untuk sampel E3, E2 dan E1 masing-masing adalah 1450°C (± 25), 1375°C (± 25) dan 1250°C (± 25). Hal ini menunjukkan bahwa temperatur pembakaran sesuai dengan laju reaksi pembakaran. Temperatur reaksi untuk sampel E5 dan E4 tidak dapat diukur karena *thermocouple* tidak dapat mendeteksi karena temperatur ysng tinggi terkait dengan reaksi eksotermisitas yang tinggi.

Yeh dan Chen (2007) mengenai pengaruh rasio reaktan terhadap temperatur reaksi dan laju pembakaran dalam sintesis $MoSi_2$ dan $MoSi_2$–Mo_5Si_3. Penelitian ini, menggunakan enam rasio reaktan yang berbeda, yaitu Mo : Si = 6:5, 1:1, 9:11, 3:4, 2:3, dan 1:2. Namun, hasil temperatur reaksi pembakaran dalam jurnal

hanya ada empat sampel, berdasarkan pengukuran dari 60% reaktan *theoretical maximum density* (TMD). Hasil mode propagasi, *spinning combustion* diamati untuk rasio Mo : Si yaitu 6:5, 1:1, dan 9:11. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Yeh dan Chen dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengaruh rasio Mo : Si terhadap temperatur reaksi

Rasio (Mo : Si)	Temperatur Reaksi (°C)
6:5	1141
1:1	1168
2:3	1424
1:2	1432

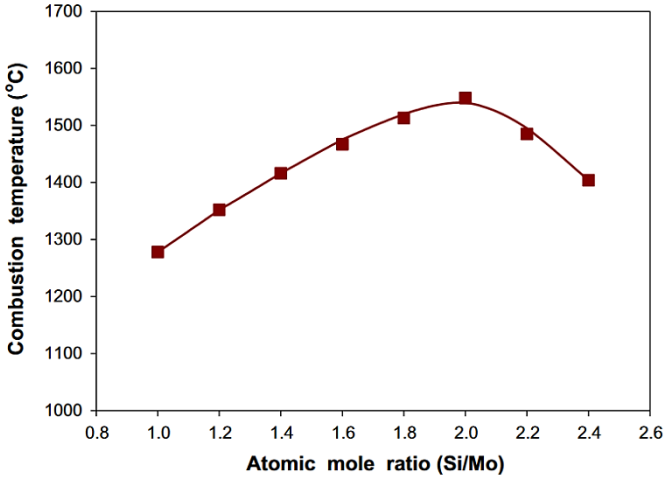
Reaksi sampel dengan Mo:Si = 2:3 dan 1:2 setidaknya 200°C lebih tinggi daripada rasio Mo:Si = 6:5 dan 1:1. Secara khusus, hasil percobaan menunjukkan bahwa untuk reaktan padatan Mo: Si = 6: 5 dan 1:1 dengan *preheating temperature* (Tp) = 200 dan 300°C, maka temperatur reaksi berkisar sekitar 1000 hingga 1200°C. Dalam kasus Mo:Si = 3:4, 2:3, dan 1:2 dengan *preheating temperature* (Tp) = 200 dan 300°C, temperature pembakaran berkisar antara 1420 hingga 1510°C.

Penelitian yang dilakukan oleh Yeo *et al.* (2015) yang bertujuan menyelidiki efek dari rasio reaktan, ukuran partikel Si, dan densitas padatan terhadap karakteristik $MoSi_2$ yang disintesis dengan metode *self-propagating high-temperature synthesis*. Efek dari rasio reaktan, ukuran partikel Si, dan densitas padatan diamati dalam mikroreaktor bertekanan tinggi. Efek rasio reaktan pada penelitian tersebut dilakukan dengan membuat variasi rasio atom Si terhadap Mo (Si / Mo) dari nilai 1,0 sampai 2,6 dengan selisih 0,2 pada setiap sampel. Sifat fisik bubuk Mo dan Si yang digunakan sebagai bahan penelitian Yeo *et al.* (2015) untuk mensintesis $MoSi_2$ terdapat dalam Tabel 4.4.

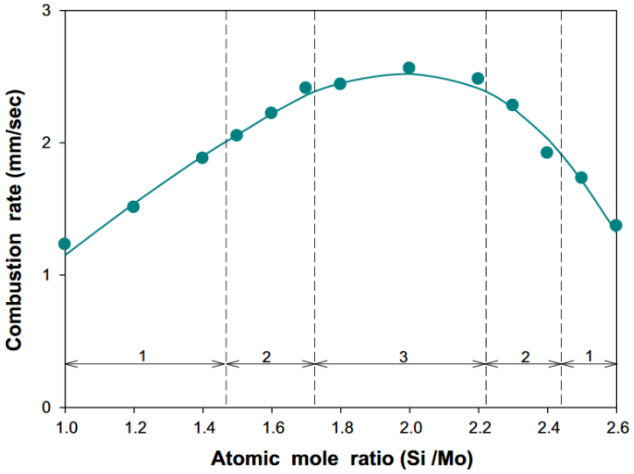
Tabel 4.4 Sifat fisik bubuk Mo dan Si (Yeo *et al.*, 2015)

Bahan	*Purity* (%)	Ukuran partikel (μm)	Surface Area (m^2/g)
Mo	99.96	3-36	1.27
High-grade Silicon , dilambangkan Si (1)	99.99	3-42	0.75
Metallurgical-grade silicon, dilambangkan, Si (2)	99.10	45-180	1.94

Penelitian Yeo *et al.* (2015) dilakukan dengan cara mencampurkan bubuk Mo dan Si, di*ball mill* selama 24 jam menggunakan bola Al_2O_3 dan menggunakan Etanol sebagai media *milling*. Analisis *frame-by-frame* dari propagasi gelombang pembakaran dilakukan untuk mengkarakterisasi mode pembakaran dan laju reaksi pembakaran. Analisis hasil pengaruh rasio Si terhadap Mo pada temperatur, laju reaksi, dan mode pembakaran masing-masing ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2. Temperatur reaksi pembakaran meningkat seiring dengan meningkatnya rasio Si terhadap Mo, sampai pada nilai rasio 2.0. Temperatur maksimum yaitu 1570°C dan laju pembakaran maksimum 2,7 mm / dt pada nilai rasio atom Si terhadap Mo 2.0. kemudian, setelah nilai rasio 2.0, temperatur menurun seiring meningkatnya rasio Si terhadap Mo.



Gambar 4.1 Efek rasio Si terhadap Mo pada temperatur reaksi pembakaran sistem Mo + Si (1)

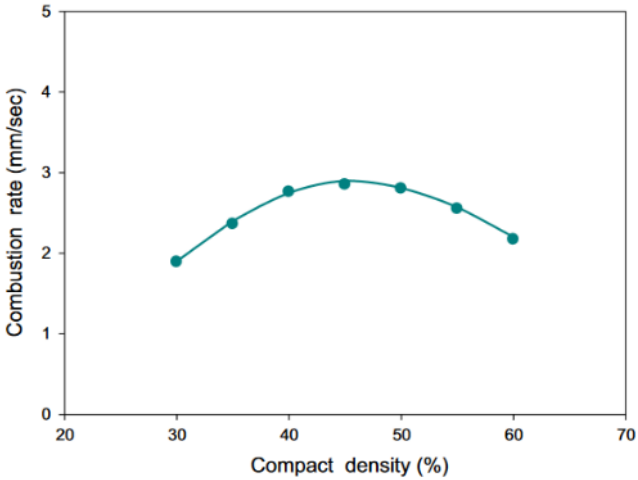


.

Gambar 4.2 Efek rasio Si terhadap Mo pada laju reaksi pembakaran sistem Mo + Si (1). Dengan hasil mode pembakaran

spinning combustion (1), *oscillatory combustion* (2), dan *steady-state combustion* (3)

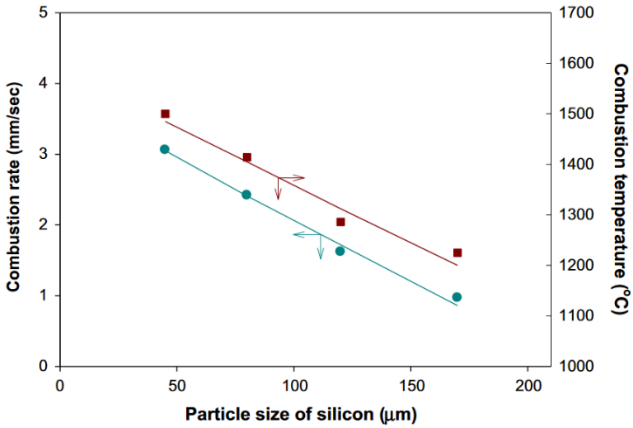
Berdasarkan mode pembakaran yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.2. Nilai rasio Si terhadap Mo dalam kisaran 1,8-2,2 dalam keadaan pembakaran stabil atau *steady-state combustion*. Reaksi pembakaran menjadi semakin kompleks ketika menghasilkan mode pembakaran *spinning combustion* dan akhirnya *oscillatory combustion*. $MoSi_2$ yang disintesis dengan metode SHS dalam mode pembakaran stabil terdiri dari $MoSi_2$ yang seragam, sedangkan $MoSi_2$ dalam mode pembakaran tidak stabil mengandung pengotor seperti Mo_5Si_3, Si, dan Mo yang tidak bereaksi.



Gambar 4.3 Pengaruh densitas terhadap laju reaksi sistem Mo + Si

Analisis hasil pengaruh densitas terhadap laju reaksi ditunjukkan pada Gambar 4.3. Laju reaksi pembakaran meningkat seiring dengan meningkatnya kepadatan bubuk, dengan nilai laju reaksi pembakaran maksimum 2,8 mm / s pada kepadatan 45%, kemudian menurun. Reaksi pembakaran tidak terjadi ketika densitas bubuk kurang dari 30% atau lebih tinggi dari 60%. Oleh

karena itu, direkomendasikan bahwa kerapatan serbuk padat harus dijaga dalam kisaran 30 hingga 60%. Hasil ini sesuai dengan Frankhouser (2012) yang menyebutkan bahwa pembakaran stabil terjadi pada densitas padatan serbuk dalam kisaran 40-65%.



Gambar 4.4 Pengaruh ukuran partikel Si terhadap temperatur dan laju reaksi pembakaran sistem Mo + 2 Si (2)

Pengaruh ukuran partikel Si terhadap temperatur dan laju reaksi pembakaran ditunjukkan pada Gambar 4.4. Laju reaksi pembakaran menurun hampir secara linear dengan meningkatnya ukuran partikel Si dalam bubuk. Ketika ukuran partikel Si meningkat dari 45 menjadi 180 µm, suhu dan laju pembakaran menurun dari 1500° C dan 3,0 mm / s menjadi 1225°C dan 1,0 mm / s. Dengan kata lain, tiga kali lipat ukuran partikel Si menurunkan temperatur pembakaran sebesar 275° C dan laju reaksi pembakaran sebesar 2 mm / s. Temperatur dan laju reaksi pembakaran dapat tergantung pada ukuran partikel reaktan, distribusi ukuran partikel, rasio reaktan, pengotor dalam reaktan, densitas, suhu pemanasan awal dan sebagainya.

Penelitian yang dilakukan oleh Yeh dan Peng (2016), mengenai proses sintesis $MoSi_2$ dengan teknik pembakaran

menggunakan reagen termit dari MoO_3 dan SiO_2. Terdapat dua reaksi pada penelitian ini, campuran termit reaksi pertama terdiri dari MoO_3 + 2Al dan campuran termit reaksi kedua yaitu 0.6 MoO_3 + 0.6SiO_2 + 2Al. Kemudian masing-masing dari keduanya dimasukkan ke dalam sistem reaksi Mo-Si. Peningkatan Mo dan Si digunakan untuk memproduksi jumlah $MoSi_2$ yang lebih tinggi, sehingga mengurangi keseluruhan reaksi eksotermis dan memperlambat gelombang pembakaran. Proses SHS yang melibatkan termit MoO_3 + 2Al lebih eksotermis daripada yang mengandung termit 0.6MoO_3 + 0.6SiO_2 + 2Al.

Penelitian yang dilakukan oleh Yeh dan Peng (2016), mengenai *combustion synthesis* $MoSi_2$-Al_2O_3 dengan menggunakan reagen berbasis termit. Pada penelitian ini, menggunakan campuran dua reagen termit yang berbeda yaitu, MoO_3 + 2 Al dan 0.6 MoO_3 + 0.6 SiO_2 + 2 Al kedalam sistem reaksi Mo-Si. Sistem reaksi dapat dituliskan seperti pada persamaan 4.2 dan 4.3 sebagai berikut, di mana koefisien stoikiometri, x dan y, menandakan jumlah mol $MoSi_2$ yang terbentuk dalam komposit yang mengandung 1 mol Al_2O_3:

$$(x-1)\ Mo + (2x)\ Si + MoO_3 + 2Al \rightarrow x\ MoSi_2 + Al_2O_3 \qquad 4.2$$

$$(y\text{-}0.6)\ Mo + (2y\text{-}0.6)\ Si + 0.6\ MoO_3 + 0.6\ SiO_2 + 2\ Al \rightarrow y\ MoSi_2 + Al_2O_3 \qquad 4.3$$

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Yeh dan Peng (2016) yaitu, reaksi pertama dengan menggunakan reagen termit MoO_3 + 2 Al, menghasilkan penurunan temperatur pembakaran dari 1645 ke 1198°C karena rasio molar $MoSi_2$ / Al_2O_3 meningkat dari x = 2,0 menjadi 4,5, yang mengakibatkan penurunan keseluruhan reaksi eksotermisitas dengan penambahan Mo dan Si, karena peningkatan Mo dan Si pada sintesis $MoSi_2$ dengan jumlah yang lebih tinggi akan mengurangi eksotermis reaksi keseluruhan dan memperlambat gelombang pembakaran. Reaksi kedua dengan reagen termit 0.6 MoO_3 + 0.6 SiO_2 + 2 Al menghasilkan komposit dengan rasio $MoSi_2$ / Al_2O_3 dari 1,2 hingga 2,5, dengan penurunan temperatur pembakaran dari 1587 menjadi 1146°C.

Reaksi pertama lebih eksotermis daripada reaksi kedua. Hal tersebut dikarenakan jumlah panas yang dihasilkan oleh reaksi pertama lebih besar daripada yang dihasilkan oleh reaksi kedua. Akibatnya, laju penurunan temperatur lebih lambat untuk sampel reaksi pertama. Fase $MoSi_2$ yang terbentuk dalam komposit tergantung pada temperatur pembakaran. Ditemukan bahwa β-$MoSi_2$ mendominasi dalam produk dengan temperatur pembakaran lebih tinggi dari 1550°C dan α-$MoSi_2$ berlaku pada temperatur pembakaran di bawah 1320°C.

Pada *review* jurnal ini memberikan kesimpulan bahwa karakteristik sifat $MoSi_2$ dan temperatur reaksi sintesis $MoSi_2$ ditentukan oleh komposisi material yang digunakan dan metode sintesis yang digunakan. Hasil review dari beberapa jurnal dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil dan variasi pada jurnal yang di *review*

Jurnal	Variabel	Temperatur reaksi sintesis $MoSi_2$
Canarslan *et al.*, 2019	Konsentrasi *filler* SiC 65 wt% (E1)	1250° C (± 25)
	Konsentrasi *filler* SiC 60 wt% (E2)	1375° C (± 25)
	Konsentrasi *filler* SiC 55 wt% (E3)	1450° C (± 25)
Yeh dan Chen, 2007	Rasio Mo : Si = 6:5	1141°C
	Rasio Mo : Si = 1:1	1168°C
	Rasio Mo : Si = 2:3	1424°C
	Rasio Mo : Si = 1:2	1432°C
Yeo *et al.*, 2014	Rasio Si : Mo = 1.8	1510°C
	Rasio Si : Mo = 2.0	1570°C
	Rasio Si : Mo = 2.2	1480°C
	Ukuran partikel Si 45 µm	1500°C
	Ukuran partikel Si 180 µm	1225°C

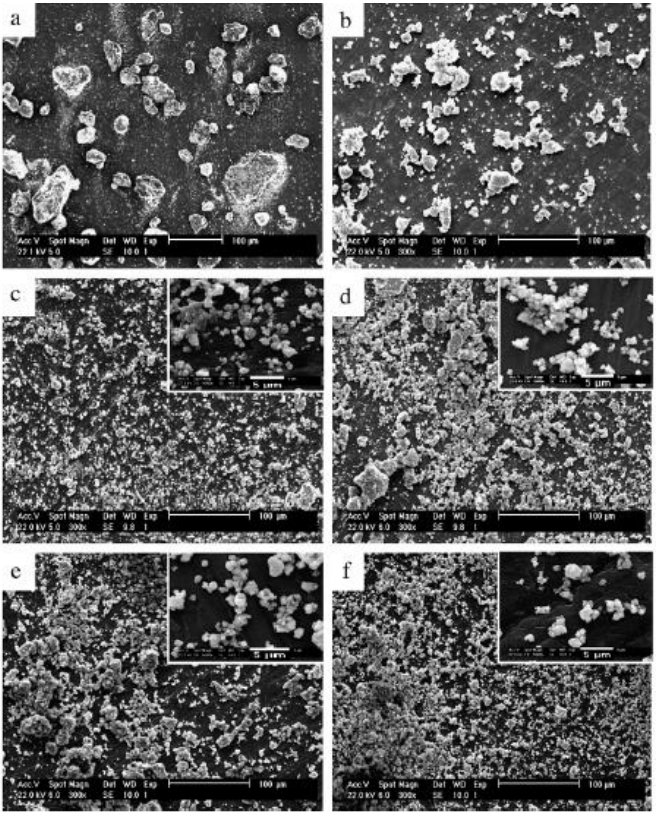
Yeh dan Peng, 2016	Reaksi pertama dengan rasio molar $MoSi_2 : Al_2O_3 = 2$	1645°C
	Reaksi pertama dengan rasio molar $MoSi_2 : Al_2O_3 = 4.5$	1198°C
	Reaksi kedua dengan rasio molar $MoSi_2 : Al_2O_3 = 1.2$	1587°C
	Reaksi kedua dengan rasio molar $MoSi_2 : Al_2O_3 = 2.5$	1146°C

4.2 Hasil dan Pembahasan Pengujian dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Penelitian yang dilakukan oleh Zaki *et al.* (2014) pada penelitiannya pengamatan menggunakan SEM dilakukan pada permukaan yang telah dipoles dan dilapisi dengan emas untuk memastikan konduktivitas listrik yang baik dari seluruh komponen sampel. Porositas spesimen pada penelitian tersebut diukur melalui metode Archimedes (perendaman dalam air). Mikrostruktur spesimen diproduksi dengan presentase pengenceran yang berbeda, yaitu 20%, 25%, dan 30% kemudian dibandingkan dengan spesimen tanpa pengenceran. Hasilnya, porositas sampel meningkat berbanding lurus dengan peningkatan jumlah pengencer dan spesimen dengan volume pengenceran 20% mempunyai homogenitas tertinggi dibandingkan yang lain.

Penelitian yang dilakukan oleh Zamani *et al.* (2012) mengenai sintesis dan karakterisasi nanokomposit $MoSi_2$-Mo_5Si_3 dengan paduan mekanik dan perlakuan panas yang dilakukan oleh. Serbuk nanokomposit $MoSi_2$-Mo_5Si_3 disintesis dengan paduan mekanik dari campuran serbuk Mo dan Si pada temperatur ruang. Morfologi dan mikrostruktur partikel serbuk diamati dengan *scanning electron microscopy* (SEM).

Gambar 4.5 dibawah menampilkan gambaran SEM morfologi partikel bubuk selama proses penggilingan pada berbagai durasi.



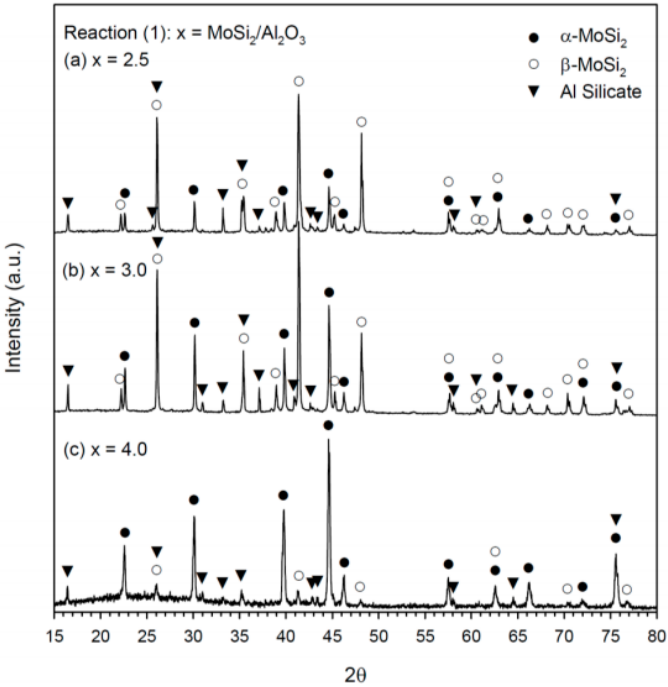
Gambar 4.5 Gambaran SEM serbuk Mo-Si setelah (a) 3 jam, (b) 6 jam, (c) 12 jam (d) 24 jam (e) 36 jam dan (f) 48 jam waktu penggilingan (Zamani *et al.*, 2012).

Seperti dapat dilihat pada Gambar4.5 sejumlah aglomerat dengan morfologi *semi-spherical* dan partikel halus terbentuk sebagai hasil dari *cold welding* dan deformasi plastis Mo dan Si. Ukuran aglomerat rata-rata adalah antara 50 μm dan 150 μm.

Peningkatan waktu *milling* menjadi 6 jam menyebabkan penurunan ukuran aglomerat menjadi 30 µm sebelum reaksi pembakaran terjadi. *Ball milling* sampai 12 jam menyebabkan penurunan ukuran partikel yang signifikan menjadi sekitar 2-5 µm karena *work hardening* dan peningkatan fraktur serbuk Mo dibandingkan dengan tingkat *cold welding*. Pada tahap ini ukuran partikel memiliki distribusi seragam, ditunjukkan pada Gambar 4.5c. Ketika waktu *milling* meningkat dari 12 jam menjadi 24 jam, partikel diaglomerasi lagi karena dua alasan. Pertama, terjadinya reaksi eksotermik antara Mo dan Si dengan rasio molar 1 banding 2 yang menyebabkan kenaikan temperatur mengakibatkan ukuran partikel bertambah. Kedua, keberadaan bubuk molibdenum halus antara partikel-partikel $MoSi_2$ menyebabkan mereka saling menempel dan aglomerat terbentuk lagi. Dengan meningkatkan durasi *ball milling* menjadi 48 jam, ukuran partikel menjadi lebih halus karena fragmentasi fase rapuh $MoSi_2$ dan Mo_5Si_3. Morfologi partikel menjadi lebih seimbang dengan ukuran partikel rata-rata sekitar 1-3 µm yang terbentuk dari partikel submikron seperti yang terlihat pada Gambar 4.5 f (Zamani *et al.*, 2012).

Pada penelitian ini pengamatan dengan *scanning electron microscopy* (SEM) yang dilakukan oleh Canarslan,2019, dapat dilihat dari spesimen E2 menunjukkan mikrostruktur berbagai jenis pori dengan distribusi yang tidak merata, berukuran hingga 100 µm, berasal dari evolusi gas selama perbedaan pembakaran atau densitas antara produk dan reaktan.

4.3 Hasil dan Pembahasan Pengujian dengan *X-Ray Diffraction* (XRD)



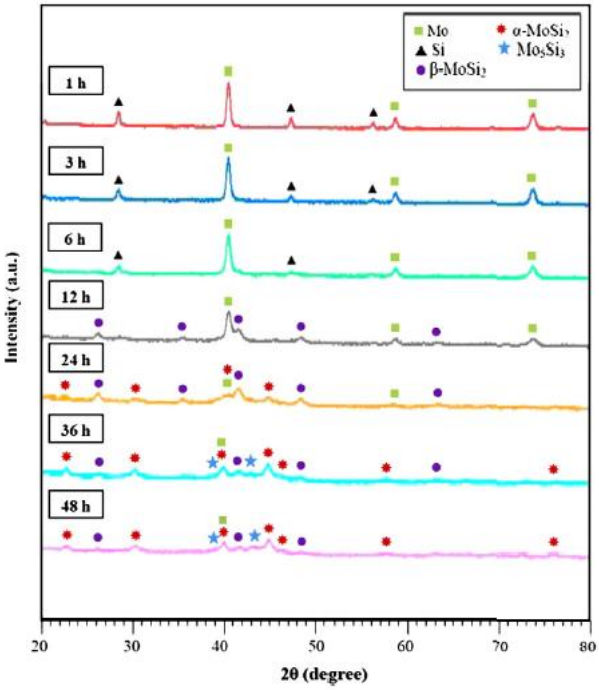
Gambar 4.6 Pola XRD dengan perbedaan temperatur (Yeh dan Peng, 2016)

Pola dari sampel a – c pada Gambar 4.6 menampilkan pola XRD komposit yang diproduksi SHS dari Reaction (1) dengan rasio $MoSi_2$ / Al_2O_3 yang berbeda. Pembentukan fase α dan β dari $MoSi_2$ diamati. Terlihat bahwa β-$MoSi_2$ (fase temperatur tinggi) adalah silisida mendominasi. Pada Gambar a dari x = 2.5, yang sesuai dengan Tc, maks = 1580°C. Dengan peningkatan koefisien x, transformasi fasa dari β-$MoSi_2$ ke α-$MoSi_2$ (fase temperatur rendah) ditunjukkan pada Gambar a-c. Perubahan fasa ini kemungkinan disebabkan oleh penurunan temperatur pembakaran.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar c, fase silisida diatur oleh α-$MoSi_2$ dalam produk dengan x = 4.0, di mana Tc, maks = 1280°C. β-$MoSi_2$ adalah fase metastable dengan sifat termoelektrik yang sangat baik, sedangkan α-$MoSi_2$ adalah fase stabil dengan resistansi listrik yang rendah dan resistansi oksidasi yang tinggi . Pembentukan β-$MoSi_2$ dalam produk akhir dapat dikaitkan dengan termal yang tinggi dan laju pendinginan yang cepat yang melekat dalam proses SHS. Bukti eksperimental dari penelitian ini menunjukkan bahwa komposit as-disintesis fitur β-$MoSi_2$ sebagai silisida utama ketika pembakaran temperatur melebihi 1550◦C, dimana α-$MoSi_2$ mendominasi dalam produk akhir dengan temperatur pembakaran lebih rendah dari 1320◦ C.Selain itu, XRD dari aluminium silikat dan bukan Al_2O_3 indeks dalam spektrum. Aluminium silikat atau disebut mullite adalah solusi padat dari Al_2O_3 dan SiO_2. Ini menunjukkan bahwa, Al_2O_3 dihasilkan. Karena ada Si dalam sistem reaksi, pelarutan sejumlah kecil Si ke dalam Al_2O_3 menyebabkan pembentukan aluminium silikat dalam produk akhir. Konstituen fase komposit yang disintesis dari Reaksi identik dengan yang dari Reaksi. Ketergantungan perubahan fase $MoSi_2$ yang dihasilkan oleh Reaksi pada temperatur pembakaran adalah dengan cara yang konsisten dengan yang diamati dalam reaksi . Untuk komposit yang diturunkan dari SHS dari Reaksi , silisida produk y = 1.2 didominasi oleh β-$MoSi_2$ karena temperatur pembakaran yang tinggi mendekati 1590°C, tetapi α-MoSi2 berlaku dalam produk y = 2.0 dan 2.5 karena temperatur pembakaran rendah masing-masing 1320 dan 1146◦C. Pola XRD komposit dengan y= 2.5 digambarkan pada Gambar 4.6, yang memiliki rasio $MoSi_2$ / Al_2O_3 yang sama seperti yang ditunjukkan pada Gambar a. Ini menunjukkan bahwa fase $MoSi_2$ dapat disesuaikan melalui sistem reaksi dengan pereaksi termit yang berbeda.

Penelitian mengenai sintesis dan karakterisasi nanokomposit $MoSi_2$-Mo_5Si_3 dengan paduan mekanik dan perlakuan panas yang dilakukan oleh Zamani *et al.* (2012). Serbuk nanokomposit $MoSi_2$-Mo_5Si_3 disintesis dengan paduan mekanik dari campuran serbuk

Mo dan Si pada temperatur ruang. Evaluasi fase bubuk setelah berbagai durasi penggilingan dan perlakuan panas dinilai melalui *x-ray diffraction* (XRD). Pola *x-ray diffraction* dari paduan mekanik serbuk Mo-Si paduan mekanik pada berbagai durasi penggilingan ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Pola *x-ray diffraction* campuran serbuk Mo-Si setelah berbagai durasi penggilingan (1 jam – 48 jam) (Zamani *et al.*, 2012).

Puncak Mo menjadi lebih luas setelah 6 jam penggilingan tanpa gerakan, sementara intensitas puncak Si menurun secara signifikan. Hal ini disebabkan oleh pencampuran bubuk Mo dan Si pada tahap awal *ball milling*. Selain itu cakupan Si oleh bubuk Mo yang memiliki nomor atom lebih tinggi dari Si menyebabkan

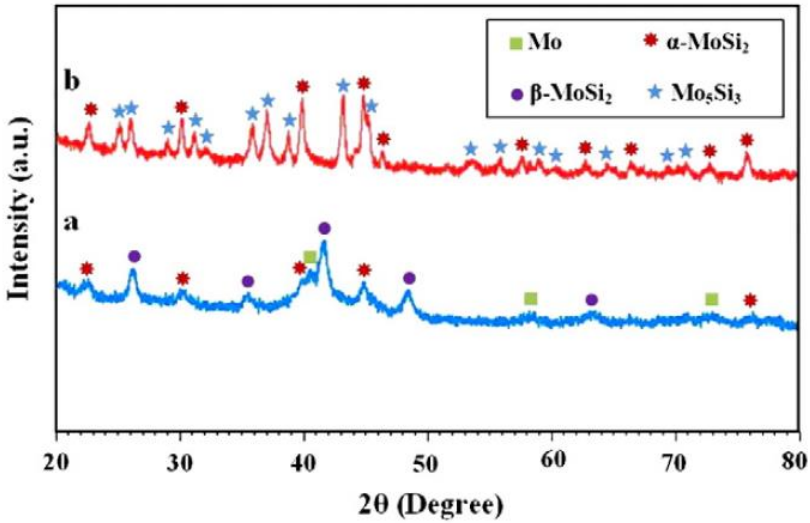
koefisien penyerapan sinar-X yang lebih tinggi untuk Mo dibandingkan dengan Si (Yen *et al.*, 1996). Spesimen yang selanjutnya digiling hingga 12 jam menyebabkan hilangnya puncak Si dan munculnya puncak heksagonal β-$MoSi_2$. Fenomena ini dapat dikaitkan dengan dua alasan. Pertama, karena proses amorfisasi Si. Kedua, penurunan signifikan butir Si melalui pembentukan dan pemisahan fase β-$MoSi_2$ dari batas Si menyebabkan hilangnya puncak Si. Penggilingan lebih lanjut hingga 24 jam menunjukkan keberadaan puncak Mo dengan intensitas rendah yang menunjukkan adanya sebagian reaksi solid state. Peningkatan waktu *milling* menjadi 48 jam menyebabkan puncak Mo yang tersisa hampir sepenuhnya menghilang dengan sejumlah besar fase-β yang diubah menjadi fase-α disertai dengan jumlah jejak fase-β (Zamani *et al.*, 2012).

Selanjutnya dalam kondisi ini jumlah fasa Mo_5Si_3 *molybdenum* mulai terbentuk melalui reaksi 4.4 berikut:

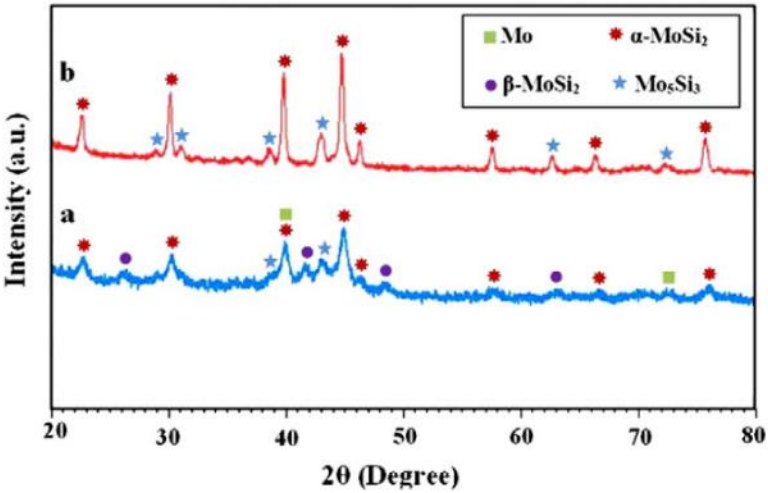
$$3MoSi_2 + 7Mo \rightarrow 72Mo_5Si_3 \qquad 4.4$$

Setelah pembentukan Mo_5Si_3, intensitas fase ini meningkat dengan meningkatnya waktu *milling*. Pembentukan dan pengembangan Mo_5Si_3 selama paduan mekanik ditentukan oleh laju reaksi lambat $MoSi_2$ (reaktan) dan Mo_5Si_3 (produk) yang terbentuk berdampingan selama 48 jam durasi *milling*. Seperti disebutkan dalam literatur $MoSi_2$ memiliki ketahanan oksidasi yang sangat baik pada temperatur tinggi dan ketahanan *creep* rendah di atas 1200°C yang tidak sesuai untuk aplikasi bantalan beban temperatur tinggi. Mo_5Si_3, di sisi lain, memiliki titik leleh yang lebih tinggi dari 1340° C dibandingkan dengan $MoSi_2$ dengan sel unit yang lebih kompleks yang meningkatkan ketahanan mulurnya. Dalam penelitian Zamani (2012) ini, pembentukan β-$MoSi_2$ terjadi setelah waktu penggilingan 6 jam sementara α-$MoSi_2$ dibuat setelah 24 jam. Hasil ini berbeda dengan yang dilakukan oleh Zakeri *et al.* (2006) di mana β-$MoSi_2$ dan α-$MoSi_2$ diperoleh setelah hanya 3 jam.

Hasil *x-ray diffraction* dari campuran serbuk Mo-Si yang di *milling* selama 24 jam dan 48 jam dan yang di *milling* selama 24 jam dan 48 jam dengan perlakuan panas selama 2 jam pada 1000°C ditunjukkan pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.



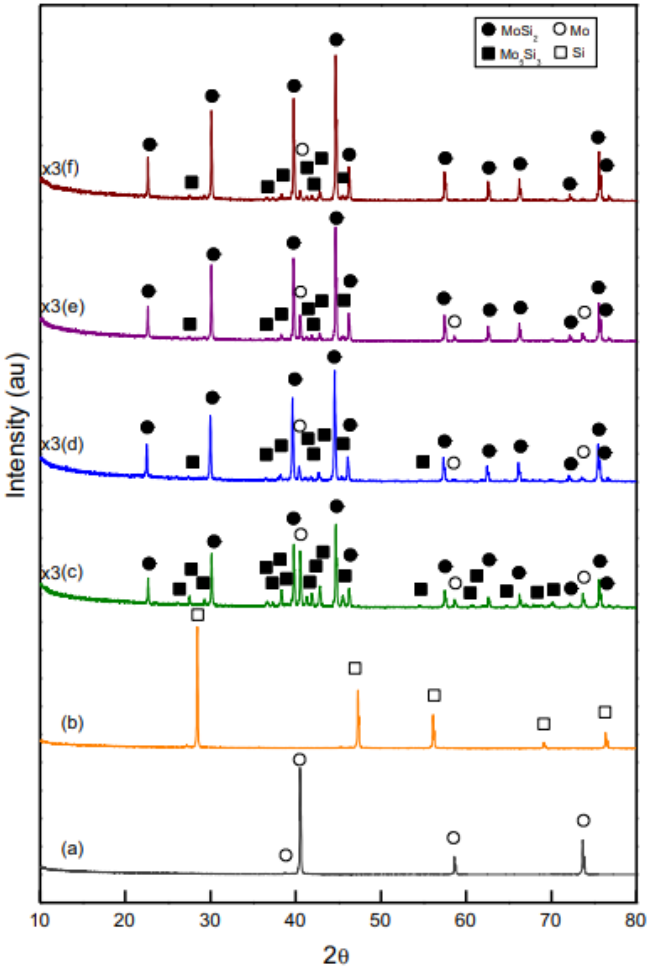
Gambar 4.8 Pola *x-ray diffraction* dari campuran serbuk Mo-Si (a) yang di*milling* selama 24 jam (b) yang di*milling* selama 24 jam dengan *annealing* selama 2 jam pada 1000°C (Zamani *et al.*, 2012).



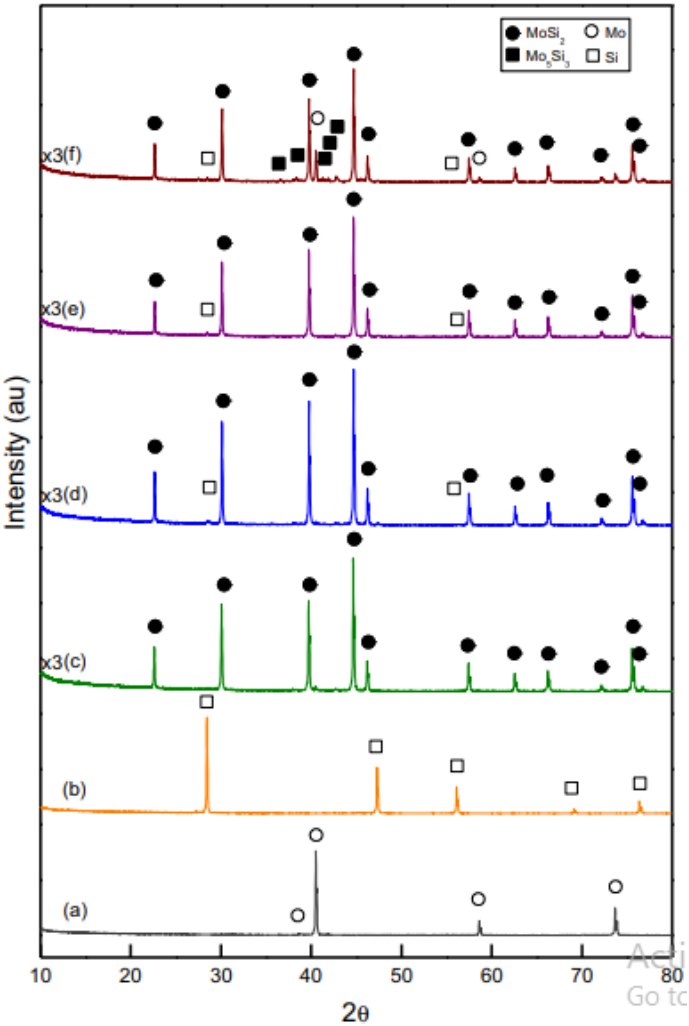
Gambar 4.9 Pola *x-ray diffraction* dari campuran serbuk Mo-Si (a) yang di*milling* selama 48 jam (b) yang di*milling* selama 48 jam dengan *annealing* selama 2 jam pada 1000° C (Zamani *et al.*, 2012).

Perlakuan panas selama 2 jam pada 1000°C menyebabkan transformasi fase β-$MoSi_2$ menjadi α-$MoSi_2$ dan pembentukan Mo_5Si_3. Ukuran kristal α-$MoSi_2$ dan Mo_5Si_3 sedikit meningkat menjadi 19 nm dan 14 nm setelah *annealing* untuk spesimen yang di*milling* selama 48 jam. Selain itu, ukuran kristal α-$MoSi_2$ dan Mo_5Si_3 menurun dengan meningkatnya waktu *milling* sementara β-$MoSi_2$ meningkat dengan meningkatnya waktu *milling* dari 24 jam menjadi 48 jam. Nilai mikrostrain dari fase tersebut, menunjukkan hal yang berlawanan dengan ukuran kristalit. Stabilitas termal struktur nanokomposit $MoSi_2$-Mo_5Si_3 ditentukan melalui perlakuan *annealing* pada 1000°C untuk spesimen yang di*milling* selama 24 jam dan 48 jam. Secara umum, struktur nanokristalin secara termodinamika metastabil karena adanya sejumlah besar energi bebas yang disimpan dalam batas butir (Zamani *et al*, 2012).

Perbandngan pola XRD Mo dan Si ditunjukkan pada Gambar 4.10 dan 4.11 dibawah ini

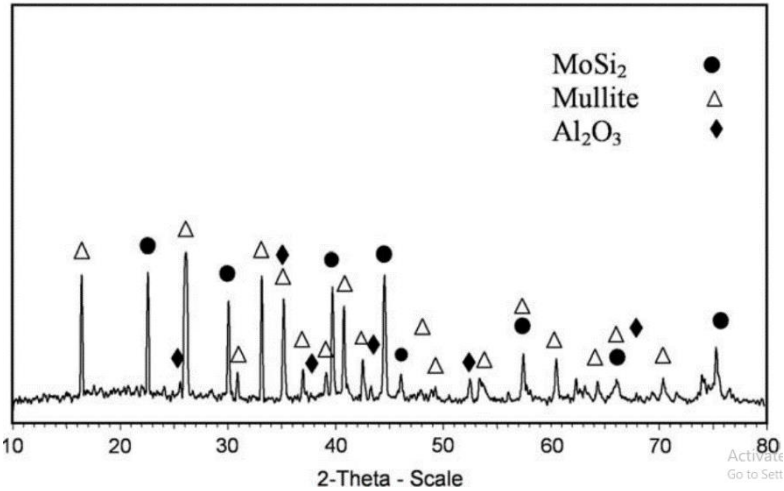


Gambar 4.10 Perbandingan pola XRD Mo dan Si (Yeo, 2014)



Gambar 4. 11 Perbandingan pola XRD Mo dan Si Pada penelitian (Yeo, 2014)

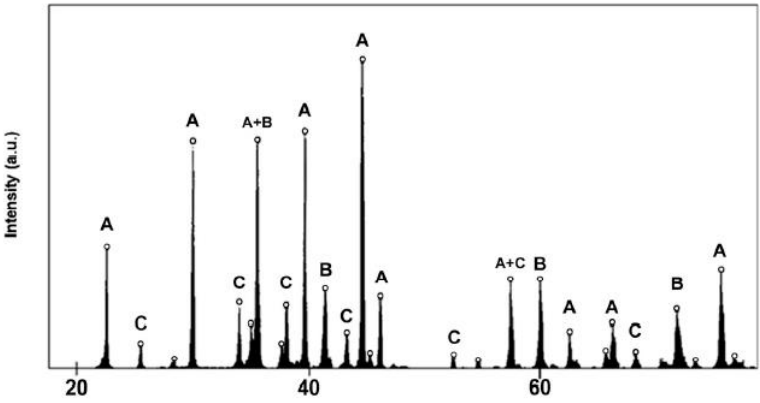
Pola XRD dari produk pembakaran disintesis dari molybdenum dan compacts bertenaga silikon dengan rasio atomik silikon terhadap molibdenum dari 1,0 hingga 2,6 ditunjukkan pada Gambar.4.10 dan 4.11. Pola XRD dari molibdenum dan reaktan silikon juga dimasukkan untuk perbandingan. Semua reaktan dan produk dikristalisasi dengan baik seperti yang ditunjukkan oleh puncak tajam untuk setiap senyawa. Semua puncak utama ditemukan cocok dengan puncak standar Mo (nomor kartu JCPDS 4-0809), Si (nomor kartu JCPDS 5-0565), $MoSi_2$ (nomor kartu JCPDS 6-0681), dan Mo_5Si_3 (nomor kartu JCPDS 34- 0371). Tidak ada fase lain seperti Mo3Si tidak terdeteksi. Ketika rasio atom silikon terhadap molibdenum meningkat, intensitas puncak terkuat molibdenum pada 2θ = 40,5 derajat menurun dan akhirnya tidak dapat dideteksi pada rasio atom silikon terhadap molibdenum 2,0 seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 4.10 dan Gambar 4.11. Untuk rasio atom silikon terhadap molibdenum 1,0-2,0, puncak silikon terkuat pada 2θ=28,41 tidak terdeteksi. Namun, untuk rasio atom silikon terhadap molibdenum lebih besar dari 2,2, puncak terkuat Si terlihat. Intensitas puncak Mo_5Si_3 terkuat pada 2θ = 42,7 derajat menurun karena rasio atom silikon terhadap molibdenum meningkat dan puncak ini akhirnya menghilang karena rasio atom silikon terhadap molibdenum lebih besar dari atau sama dengan 2,0. Intensitas puncak terkuat MoSi2 pada 2θ = 44,8 derajat meningkat dengan meningkatnya rasio atom silikon terhadap molibdenum, mencapai intensitas maksimum pada rasio atom silikon terhadap molibdenum 2,2, dan setelah itu menurun dengan meningkatnya rasio atom silikon terhadap molibdenum . Perlu dicatat bahwa intensitas puncak $MoSi_2$ terkuat adalah maksimal pada rasio atom silikon terhadap molibdenum 2,2 dan puncak terkuat Mo_5Si_3 menghilang karena rasio atom silikon terhadap molibdenum lebih besar dari 2,0 yang ditunjukkan pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Gambar pola XRD MoSi2 (Zaki,2014)

Pada penelitian Zaki, 2014 memberikan penjelasan Produk pembakaran ditandai dengan identifikasi fase menggunakan analisis XRD, ditunjukkan pada Gambar. 4.12. Pola tersebut mengungkapkan bahwa $MoSi_2$ dan mullite muncul sebagai fase utama sedangkan alumina muncul sebagai fase minor. Di sisi lain tidak ada karakteristik puncak untuk bahan awal terdeteksi. Ini menunjukkan bahwa reaksi antara prekursor awal telah selesai sesuai dengan reaksi menggunakan mode panas termal di bawah tekanan yang diberikan. Namun homogenitas mikro dari komposit tersebut dianggap sebagai salah satu parameter yang sangat penting yang memiliki dampak langsung pada sifat fisik-mekaniknya. Pola XRD dari semua sampel yang diproduksi dengan jumlah larutan yang berbeda variasi,dari 10 hingga 30% berat (tidak diperlihatkan) dan mengungkapkan bahwa komposit target mullite / $MoSi_2$ adalah fase utama tanpa deteksi puncak apapun untuk reaktan. Penambahan larutan tidak mempengaruhi komposisi fase dari sampel yang diproduksi sesuai dengan kenyataan bahwa itu

adalah salah satu produk selama reaksi antara prekursor awal. Kemudian untuk pola XRD resistensi oksidasi dari produk pembakaran padat dilakukan diruang terbuka pada 1300°C selama 3 jam. Tidak ada kenaikan atau penurunan yang terlihat. Ini memastikan bahwa komposit ini memiliki ketahanan yang baik terhadap oksidasi dalam kisaran temperatur yang diuji Pola XRD dari spesimen teroksidasi pada 1300°C, Gambar 4.12, menunjukkan adanya fase kristobalit SiO_2 dan pola difraksi alumina yang lemah. Tidak ada bukti untuk dekomposisi $MoSi_2$ ke fase kaya-Mo (Mo_5Si_3) seperti sampel yang mengandung $MoSi_2$. Ini dapat dikaitkan dengan butir MoSi2 dalam matriks mullite yang mencegah kontak langsung antara butir $MoSi_2$ dan oksigen seperti pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Pola *x-ray diffraction* (Cu Kα *radiation*) dari spesimen E2 (A: $MoSi_2$; B: α-Al_2O_3; C: β-SiC) (Canarslan, 2019).

Pada penelitian yang dilakukan oleh canarslan,2019.Pola XRD hampir identik untuk semua sampel. Hasil XRD pada spesimen E1, terdapat beberapa bukti yang menunjukkan ketidaklengkapan reaksi seperti temperatur pembakaran, kecepatan dan tingkat porositasnya. Hal tersebut dikarenakan, spesimen E1

mengandung *combustible material* (Al, MoO_3, Si, SiO_2) yang paling rendah daripada spesimen yang lain (E2, E3, E4, dan E5). Akibatnya, reaksi terjadi sampai batas tertentu, dan terdapat bagian dari reaktan yang tidak bereaksi dan tidak dapat dideteksi dalam pola XRD.

Pola difraksi spesimen E2 ditunjukkan pada Gambar 4.13, karena spesimen E2 dianggap sebagai spesimen dengan hasil yang paling optimal. Pada pola difraksi tersebut, dapat diindeks menjadi tiga fase utama yaitu, $MoSi_2$, α-Al_2O_3 dan β-SiC. Hasil akhir elemen yang disintesis mengandung sekitar 19 wt% $MoSi_2$, 21 wt% α-Al_2O_3, dan 60 wt% β-SiC.

4.4 Hasil dan Pembahasan Pengaruh Metode Sintesis $MoSi_2$ terhadap Resistivitas Listrik

Pada penelitian ini yang dilakukan oleh Canarslan *et al.* (2019). Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini, tentu masing-masing memiliki sifat kelebihan dan kekurangan, sehingga dikombinasikan untuk saling melengkapi agar dapat digunakan sebagai material pada elemen pemanas. Dalam penelitian tersebut dapat menghasilkan *element watt loading* pada temperatur 1500°C dan resistivitas temperatur ruangan elemen adalah 20 W / cm^2 dan 12 Ω cm

$MoSi_2$ mempunyai sifat termal, resistivitas listrik dan kimia yang unik, dan kepadatannya moderat, $MoSi_2$ telah mendapat perhatian dari banyak penelitian. Meskipun sifat mekaniknya lemah, tetapi $MoSi_2$ menjadi bahan struktural temperatur tinggi yang penting untuk aplikasi khususnya sebagai elemen pemanas dalam temperatur tinggi (Zaki *et al.*, 2014).

Penelitian yang dilakukan oleh Zaki, *et al.* (2014), mengenai sintesis $MoSi_2$ untuk aplikasi pada temperatur tinggi, pada pengamatannya mengenai resistivitas listrik $MoSi_2$ dilakukan pada udara di bawah tekanan 1 atm dan pada temperatur ruang hingga 900°C dengan tingkat pemanasan 2°C / menit. Data mengenai temperatur dengan resistivitas direkam setiap 2 menit. Hasilnya,

resistivitas listrik yang diukur yaitu 1,8 Ω cm pada temperatur ruang. Hal tersebut menunjukkan bahwa konduktivitas listriknya baik pada temperatur ruang, sehingga akan memudahkan pemesinannya menjadi bentuk kompleks dengan menggunakan *electrical discharge machining* (EDM) teknik. Teknik ini pada dasarnya membutuhkan resistivitas yang kurang dari 100 Ω cm agar konduktif secara elektrik (Cabouro, 2011). Dengan meningkatkan temperatur, maka resistivitas listrik sedikit meningkat sebagai resistensi elemen pemanas. Karena itu resistivitas listrik jika pada temperatur 1500^0C maka akan mencapai resistivitas 22 Ω cm. Dari hasil penelitian pada tiap jurnal untuk resistivitas Listrik pada temperatur elemen yang dilakukan oleh Canarslan,Zaki dan Cabouro menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur maka resistivitas listrik akan semakin meningkat. Dari itu bisa disimpulkan bahwa jika material yang digunakan semakin kuat maka akan menghasilkan resistivitas listrik yang banyak.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data sekunder dan analisis data yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sifat $MoSi_2$ sebagai *heating element* ditentukan dari komposisi bahan dan teknik sintesis yang digunakan. Umumnya $MoSi_2$ mempunyai titik leleh yang tinggi, konduktivitas termal tinggi, dan peningkatan resistensi oksidasi
2. Proses sintesis $MoSi_2$ mulai terjadi pembentukan $MoSi_2$ pada temperatur 1200^0 C.
3. Pada tiap penelitian memiliki temperatur yang berbeda tetapi sudah optimal karena adanya perbedaan komposisi material, semua penelitian pada jurnal yang digunakan mendapatkan hasil optimal pada temperatur mulai 900° C - 1500°C dan menghasilkan resistivitas 12Ω cm atau kurang dari 100Ω cm.
4. Hasil paling baik didapatkan oleh penelitian yang dilakukan Canarslan pada tentang pemberian SiC sebagai *filler* pada proses *combustion syntesis of* $MoSi_2$ dan Al_2O_3. SiC

5.2 Saran

Adapun saran dari dan bagi penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan penelitian lebih lanjut terhadap pengaruh sintesis Mo, Si, dan Al
2. Melakukan penelitian lebih lanjut terkait pengaruh komposisi setiap material sehingga bisa mengetahui hasil sintesis yang baik dan akurat

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

Angelescu, Nicolae. 2012. “Molybdenum Dicilide Obtaining”. **Materials and Mechanic**. Vol 2. Hal 2

Cabouro, G., Chevalier, S., Gaffet, E., Rogachev, A.S., Vrel, D., Boudet, N., Bernard F. 2011. “Reaction mechanism for SHS of MoSi2 from mechanically activated powder mixtures”. **International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis**, 16(2), pp.79-86.

Canarslan, N. and Canarslan, Ö., 2019. “Combustion synthesis of SiC-MoSi2-Al2O3 composites”**. Ceramics International**, 45(12), 45(12), pp.14505-14509.

Corbin, Normand D. 1986. “Synthesis (SHS): Current Status and Future”. **Prospect water**

Dwi, Satriya. 2014. “Perancangan Sistem Pemanas Pada Rancang Mesin Pengaduk Bahan”. **Universitas Negri Surabaya**. Vol 01. Nomor 2. Hal 4

Formark, Maria. 2015. “High Temperature Oxidation of $Mo(Si,Al)_2$ Composite In Reducing Atmosphere”**. Sweden:** Chalmer University of Technology

Frankhouser, William L. 2012. "Advanced processing of ceramic compounds: Dynamic compaction technology, self-propagating high-temperature synthesis, plasmachemical technology." **Noyes Publications**: 188.

Jianhui, Yan., Xu, H., Zhang, H. and Tang, S., 2009. “MoSi2 oxidation resistance coatings for Mo5Si3/MoSi2 composites”. **Rare Metals**, 28(4), pp.418-422.

Misyetti D., Kartini O. 2003. Pengaruh Kondisi Iradiasi MoO_3 dan Proses Preparasi terhadap Kualitas Larutan Tc-Perteknetat. Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia, 4 (3), pp. 65-81

Muchsin, Muhammad. 2017. **"**Macam-Macam Elemen Pemanas". **Universitas Muhammadiyah Malang**. Vol 1. Hal 6

Nekrashevich, S S and V. A. Gritsenko. 2014. "Electronic Structure of Silicon Dioxide". **Physics Of the Solid State**. Vol 56. Hal 207

Pędrak, P., Drajewicz, M., Dychtoń, K. and Nowotnik, A., 2016. "Microstructure and thermal characteristics of SiC–Al2O3–Ni composite for high-temperature application". **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, 125(3), pp.1353-1356.

Shabalin, Igor L. 2014. "Molybdenum". **University of Salford**. Vol 1. Hal 451-452.

Shi R, Li J, Wang D, *et al.* 2009. "Mechanical properties and thermal shock resistance of Al2O3–TiC–Co composites". **J Mater Eng Perform**, 18: 414–419

Simanjuntak, C., Hastuty, S., Izzuddin, H., Sundawa, R., Sudiro, T., Sukarto, A. and Thosin, K., 2018. "Development of $MoSi_2$ coating with Al doping by using high energy milling method". **Journal of Physics: Conference Series**, 985, p. 012038.

Suarsana, Ketut. 2017. "Karakterisasi Konduktivitas Termal Dan Kekerasan Komposit Aluminium Matrik Penguat Hibrid"**.** **Jurnal Muara Sains, Teknologi**. Vol 1, No. 2

Suat, Necip Canarslan and Özgür Sevgi Canarslan. 2019. "Combustion synthesis of SiC-Mo Si_2-Al_2O_3 composites". **Ceramic International**. Vol 1. Hal 2

Yao, Zengui and Jacob J. Stiglich. 2014. "Molybdenum Silicide Based Materials and Their Properties"**.** **Materials Modification, Inc**.Vol 1. Hal 2

Yao, Zhengui, Jacob J. Stiglich and T. S. Sudarshan. 1999. "Molybdenum Silicide Based Materials and Their

Properties". **Materials Modification, Inc.** Vol 6 No. 2**,** pp. 4-23

Yeh, C. and Chen, W., 2007. "Combustion synthesis of MoSi2 and MoSi2–Mo5Si3 composites". **Journal of Alloys and Compounds,** 438 (1-2), pp.165-170.

Yeh, Chung-Liang dan Peng, Je Ann., 2016. "Combustion Synthesis of MoSi2-Al2O3 Composites from Thermite-Based Reagents". **Metals**, 6(10), p. 235.

Yeo, S., Wan Jeon, S., Eun Lee, J., Singh, V. and Kim, S., 2015. "Combustion Characteristics Of Molybdenum–Silicon Mixtures". **Ceramic International,** 41, pp. 1711-1723.

Zaki, Z., Mostafa, N. and Ahmed, Y. 2014. "Synthesis of dense mullite/MoSi2 composite for high temperature applications". **International Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, 45, pp.23-30.

Zamani, S., Bakhsheshi-Rad, H., Shokuhfar, A., Vaezi, M., Kadir, M. and Shafiee, M., 2012. "Synthesis and characterization of MoSi2-Mo5Si3 nanocomposite by mechanical alloying and heat treatment". **International Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, 31, pp.236-241.

Zhao, Y., Liu, J., Zhou, Y., Zhang, Z., Xu, Y., Naramoto, H. and Yamamoto, S., 2003. "Preparation of MoO3nanostructures and their optical properties". **Journal of Physics: Condensed Matter**, 15(35), pp. L547-L552.

Zhoua, Y , Guilan Q, Qiaoli W, Xiaoxu Z, Boyi N, Biyuan W, Ying H, Xin P N, Chuanbin W. 2018. "Mesoporous silica nanoparticles for drug and gene Delivery Chinese Pharmaceutical Association and Institute of Materia Medica, Chinese Academy of Medical Sciences". **Elsevier B.V**

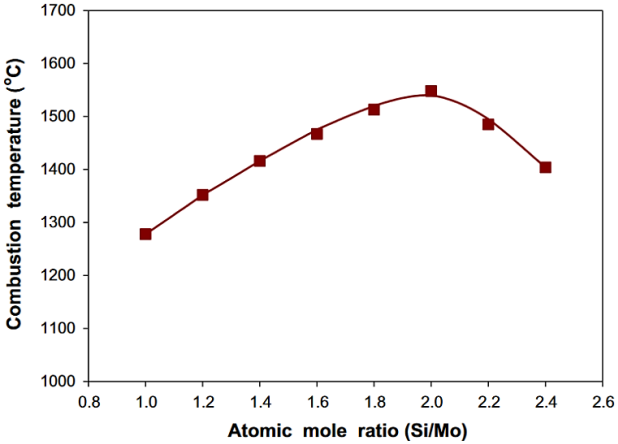
Zumdick, M and Bohm A. 2001. “Molybdenum-disilicide composites for high temperature Application”. **Material Week.** Vol 1. Hal 4.

LAMPIRAN

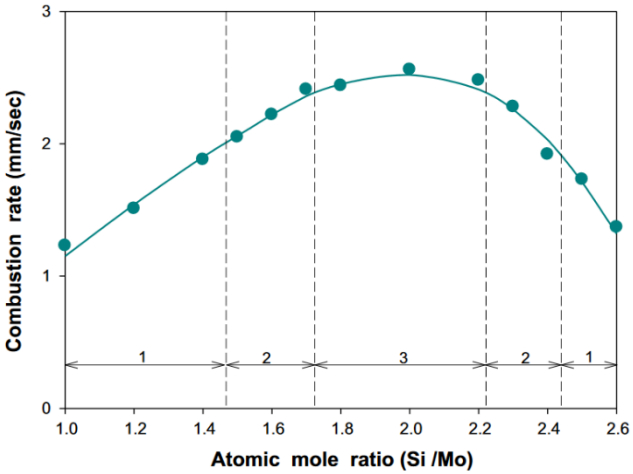
Lampiran 1

Hasil Efek Pengujian rasio Mo dan Si

a. Terhadap temperatur reaksi pembakaran sistem Mo + Si



b. Terhadap laju reaksi pembakaran sistem Mo + Si



Lampiran 2

Hasil *Review* Variasi Jurnal Efek Rasio Mo dan Si terhadap Temperatur Reaksi

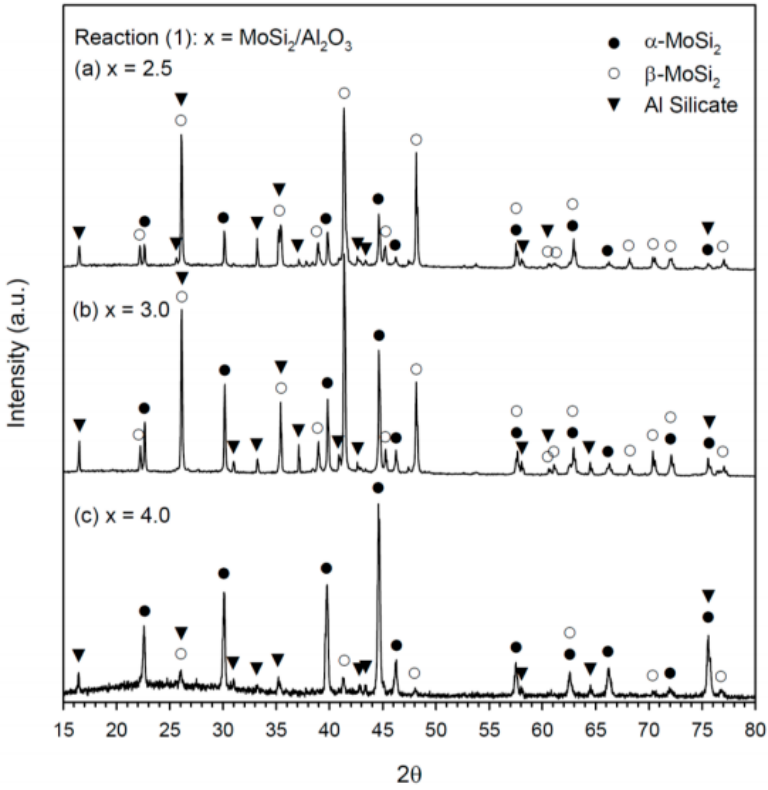
Jurnal	Variabel	Temperatur reaksi sintesis $MoSi_2$
Canarslan *et al.*, 2019	Konsentrasi *filler* SiC 65 wt% (E1)	1250° C (± 25)
	Konsentrasi *filler* SiC 60 wt% (E2)	1375° C (± 25)
	Konsentrasi *filler* SiC 55 wt% (E3)	1450° C (± 25)
Yeh dan Chen, 2007	Rasio Mo : Si = 6:5	1141°C
	Rasio Mo : Si = 1:1	1168°C
	Rasio Mo : Si = 2:3	1424°C
	Rasio Mo : Si = 1:2	1432°C
	Rasio Si : Mo = 1.8	1510°C
	Rasio Si : Mo = 2.0	1570°C
	Rasio Si : Mo = 2.2	1480°C
Yeo *et al.*, 2014	Ukuran partikel Si 45 µm	1500°C
	Ukuran partikel Si 180 µm	1225°C
Yeh dan Peng, 2016	Reaksi pertama dengan rasio molar $MoSi_2 : Al_2O_3 = 2$	1645°C
	Reaksi pertama dengan rasio molar $MoSi_2 : Al_2O_3 = 4.5$	1198°C
	Reaksi kedua dengan rasio molar $MoSi_2 : Al_2O_3 = 1.2$	1587°C

	Reaksi kedua dengan rasio molar $MoSi_2 : Al_2O_3 = 2.5$	1146°C

Lampiran 3

Hasil XRD

a. Pola XRD dengan perbedaan temperatur



UCAPAN TERIMA KASIH

Pengerjaan tugas akhir di dedikasikan kepada seluruh elemen yang memberikan dukungan dan inspirasi kepada penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir. Pada kesempatan ini penlis mengucapkan banyak terima kasih kepada

1. Bapak, Ibu dan kakak-kakak saya selaku keluarga tercinta penulis yang telah menjadi sumber motivasi dan inspirasi selama proses penyusunan tugas akhir, serta telah memberi dukungan baik secara moril maupun materil, dan tentunya doa yang tidak henti-hentinya disemogakan untuk kesehatan dan kelancaran penulis selama penyusunan laporan tugas akhir.
2. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS atas ilmu dan ajarannya yang membuat penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir.
3. Rekan seperjuangan $MoSi_2$ (Vian) yang membuat beban tugas akhir serasa tidak dipikul sendirian karena punya rasa yang sama baik saat berhasil maupun gagal.
4. Teman-teman metal mentul yang selalu berbagi motivasi, wawasan dan jam bimbingan sehingga proses pengerjaan tugas akhir berjalan dengan lancar.
5. Syafara Dwisunu Meihabsari yang menjadi alasan penulis bisa fokus menyelesaikan laporan tugas akhir serta dedikasinya dan totalitasnya dalam memberi support moril, ide dan perasaan yang mempercepat proses penyusunannya
6. Seluruh penghuni kos dan tiensquad baik yang telah lulus di wisuda 121, maupun rekan seperjuangan wisuda 122 yang banyak membantu penulis dalam menyelesaikan beban akademik dengan belajar bersama dan mencegah skip kelas.

7. Teman-teman inti Antasena ITS Team dan General Manager Antasena ITS Team 2018/2019 yang telah memberi banyak pembelajaran dan proses pendewasaan, serta selalu menciptakan lingkungan yang membangun selama kehidupan perkuliahan.
8. Seluruh pengurus dan anggota HMMT FTI-ITS yang banyak mengupgrade pola pikir dan pandangan masa kuliah penulis.
9. Seluruh mahasiswa teknik material dan metalurgi, terkhusus keluarga besar MT18 yang sudah memperlihatkan pemandangan masa kuliah yang selalu bisa dikenang.

BIODATA PENULIS

Penulis dengan nama lengkap Febri Fanani Akhmadillah, biasa dipanggil Febri. Saya dilahirkan di Kabupaten Gresik, 15 Februari 1998. Saya 3 bersaudara dan saya adalah anak terakhir dalam keluarga saya. Riwayat pendidikan saya dari TK Assa'adah tahun 2002-2004. Kemudian melanjutkan di MI Assa'adah dari tahun 2004-2010. Kemudian pada tahun 2010-2013 saya melanjutkan sekolah saya di MTS Assa'adah, kemudian di tahun 2013-2016 saya melanjutkan sekolah di SMA Assa'adah. Kemudian saya belajar di Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Departemen Teknik Material dan Metalurgi mulai tahun 2016 dan sekarang sedang menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "Studi literatur sintesis Mo, Si dan Al sebagai unsur *heating element* untuk aplikasi *hard materials* agar bisa lulus dari perguruan tinggi dan mendapatkan gelar sarjana.

Email : alvebryfananyakhmadillah@gmail.com