



**PEMODELAN *TWO-LEGS ZIG-ZAG LADDER* UNTUK SIMULASI
SIFAT SUSEPTIBILITAS MAGNETIS DAN MAGNETISASI
SISTEM SPIN KUANTUM NH_4CuCl_3 DENGAN
PEMROGRAMAN ALPS**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Fisika (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

Mohammad Ghoutsul Kafi

NIM 041810201101

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER**

2009

PERSEMBAHAN

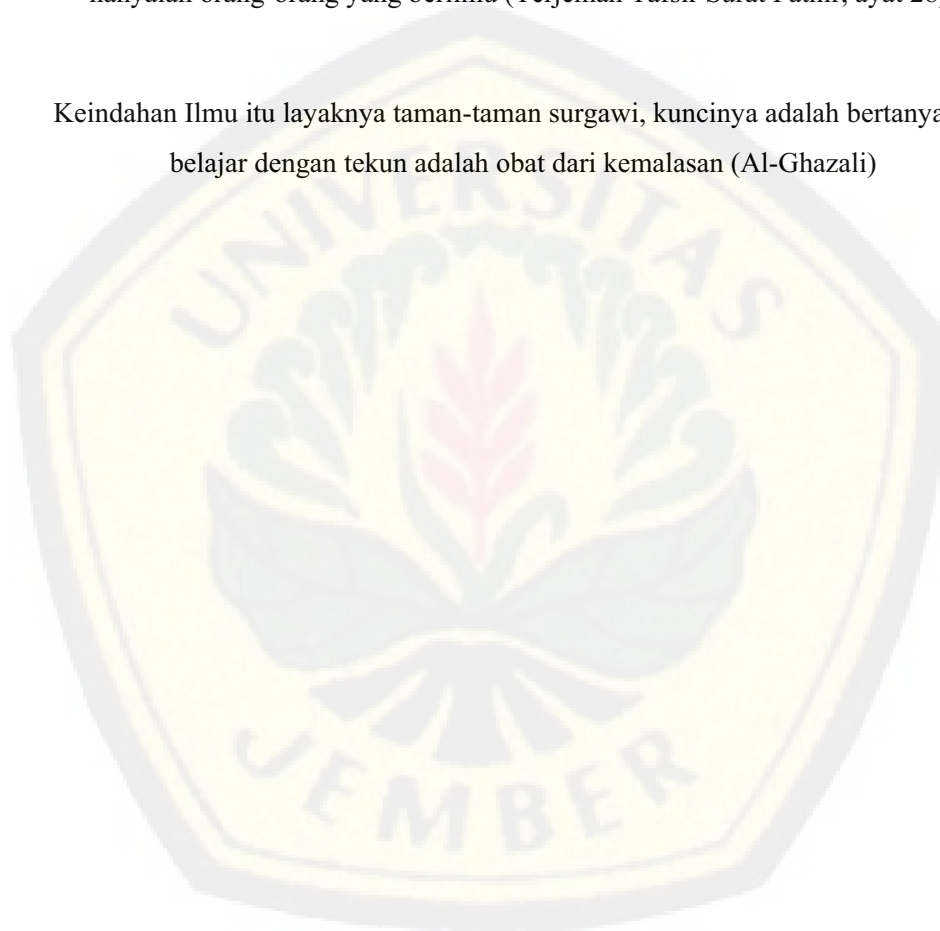
Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Allah SWT yang selalu mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya tanpa pernah terhenti.
2. Nabi tercinta Muhammad SAW yang dengan lantaran beliau petunjuk-Nya tersampaikan kepada kita.
3. Ibunda Nurhanik serta Ayahanda Safingi tercinta yang selalu mengantarkan setiap nafasku dengan hembusan doanya.
4. K.H. Farid Wajdi. A. S, sosok guru, paman, ayah dan tauladan yang selalu mendampingi di setiap keluh kesahku.
5. Para guru dan para dosen yang telah mendidiku dengan penuh perhatian dan keteguhan jiwa.
6. Kakak-kakakku Sufyan Tsauri, Sri Pangestuning Tyas dan Ahmad Muhammad yang selalu memberikan teladan yang indah.
7. Adinda Robi'atul Munawaroh, yang selalu mendorongku dengan memberikan secercah harapan dalam setiap kesulitan.
8. Komunitas RAYAP, KuMaN, ALPS yang selalu memberi motivasi.
9. Almamater FMIPA Universitas Jember.

MOTTO

Sesungguhnya yang takut (disertai kekaguman) kepada Allah di antara hamba-hamba-Nya, hanyalah orang-orang yang berilmu (Terjemah Tafsir Surat Fathir, ayat 28)¹

Keindahan Ilmu itu layaknya taman-taman surgawi, kuncinya adalah bertanya dan belajar dengan tekun adalah obat dari kemalasan (Al-Ghazali)



¹ Suyuthi, J. 1997. Tafsir Jalalain. Beirut: Darul Kutub

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mohammad Ghoutsul Kafi

NIM : 041810201101

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul **“Pemodelan *Two-Legs Zig-Zag Ladder* Untuk Simulasi Sifat Suseptibilitas Magnetis dan Magnetisasi Sistem Spin Kuantum NH_4CuCl_3 Dengan Pemrograman ALPS”** adalah benar-benar hasil karya tulis sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggungjawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 27 Februari 2009

Yang menyatakan,

Mohammad Ghoutsul kafi

NIM 041810201101

SKRIPSI

PEMODELAN *TWO-LEGS ZIG-ZAG LADDER* UNTUK SIMULASI SIFAT SUSEPTIBILITAS MAGNETIS DAN MAGNETISASI SISTEM SPIN KUANTUM NH_4CuCl_3 DENGAN PEMROGRAMAN ALPS

Oleh

Mohammad Ghoutsul Kafi

NIM 041810201101

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Lutfi Rohman, SSi., MSi.

Dosen Pembimbing Anggota : Prof. Drs. Agus Subekti, MSc., PhD.

PENGESAHAN

Skripsi telah diterima oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada:

Hari :

Tanggal :

Tempat : Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Lutfi Rohman, SSi., MSi.
NIP. 131 206 037

Prof. Drs. Agus Subekti, MSc., PhD.
NIP. 131 412 121

Penguji I

Penguji II

Drs. Yudha Cahyoargo Hariadi, MSc., PhD.
NIP. 131 660 784

Agung Tjahjo Nugroho, SSi., Mphil.
NIP. 132 412 121

Mengesahkan
Dekan Fakultas MIPA

Prof. Drs. Kusno, DEA, PhD
NIP. 131 592 357

RINGKASAN

Pemodelan *Two-Legs Zig-Zag Ladder* Untuk Simulasi Sifat Suseptibilitas Magnetis dan Magnetisasi Sistem Spin Kuantum NH_4CuCl_3 Dengan Pemrograman ALPS; Mohammad Ghoutsul Kafi, 041810201101; 2009; 42 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Studi mengenai sistem spin $1/2$ rantai antiferomagnet model Heisenberg pada sistem spin kuantum NH_4CuCl_3 adalah salah satu bahasan yang menarik hingga beberapa tahun terakhir. NH_4CuCl_3 merupakan salah satu senyawa keluarga KCuCl_3 . Bahan ini bersifat antiferomagnetis dan memiliki keunikan pada kurva magnetisasinya. Dari pengujian dalam medan eksternal pada suhu $0,5$ K secara eksperimen, ditemukan *plateau* pada $1/4$ dan $3/4$ saturasi magnetisasi, tidak pada $1/2$ saturasi magnetisasi penuh. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pemodelan teori mengenai fenomena yang terdapat pada sistem spin kuantum NH_4CuCl_3 .

Bahan NH_4CuCl_3 memiliki Temperatur Neel yang jauh lebih rendah dari keluarga KCuCl_3 yang lain, sehingga kopling interaksi *interchain* pada topologi *zig-zag chain* NH_4CuCl_3 boleh jadi memberikan pengaruh yang harus diperhitungkan. Pemodelan *two-legs zig-zag ladder* dalam 1 dimensi didasarkan pada topologi *two-legs coupled zig-zag ladder* dari sistem spin kuantum NH_4CuCl_3 . Untuk menguji pemodelan, dilakukan pemrograman ALPS untuk memodelkan *two-legs zig-zag ladder* yang diaplikasikan pada Hamiltonian Heisenberg.

Pemodelan *two-legs zig-zag ladder* memiliki sistem frustrasi bersegi ganjil. Untuk menghitung harga harap suseptibilitas magnetis terhadap suhu, simulasi dijalankan dengan algoritma Monte Carlo Kuantum ALPS. Simulasi dilakukan dengan cara merubah simetri kisi pada pemodelan *two-legs zig-zag ladder*, karena Simulasi Monte Carlo Kuantum tidak dapat menghitung harga harap suseptibilitas

magnetis terhadap suhu pada sistem frustrasi penuh. Dari cara ini diharapkan harga harap suseptibilitas magnetis dapat didekati. Simulasi Monte Carlo Kuantum memberikan hasil bahwa pemodelan *two-legs zig-zag ladder* dengan nilai konstanta kopling $J_1=2$ dan $J_2=4$ serta $\delta = 0,7$ dan $0,8$ dapat mendekati nilai Temperatur Neel NH_4CuCl_3 yang didapatkan dari hasil eksperimen (4 K).

Nilai konstanta kopling dan perubahan simetri kisi yang mendekati temperatur Neel NH_4CuCl_3 , kemudian dievaluasi lebih lanjut pada kurva magnetisasinya. Harga harap magnetisasi dari pemodelan *two-legs zig-zag ladder* dihitung dengan menggunakan algoritma DMRG (*Density Matrix Renormalization Group*). Dari hasil simulasi untuk konstanta kopling $J_1=2$ dan $J_2=4$ dengan konstanta $\delta = 0,7$ didapatkan *plateau* terdapat pada $1/5$, $2/7$, $12/25$, $14/25$ dan $17/25$ saturasi magnetisasi penuh, sedangkan simulasi untuk konstanta kopling $J_1=2$ dan $J_2=4$ dengan konstanta $\delta = 0,8$ didapatkan *plateau* terdapat pada $2/7$, $12/25$, $14/25$ dan $17/25$ saturasi magnetisasi penuh. Hasil ini tentu saja berbeda dengan keberadaan *plateau* magnetisasi NH_4CuCl_3 dari hasil eksperimen.

Hasil penelitian memberikan kesimpulan bahwa pemodelan *two-legs zig-zag ladder* dapat memprediksi keberadaan Temperatur Neel bahan NH_4CuCl_3 , namun *plateau* magnetisasi pada pemodelan *two-legs zig-zag ladder* tidak unik pada $1/4$ dan $3/4$ saturasi magnetisasi penuh. Diduga sistem spin kuantum NH_4CuCl_3 lebih lanjut adalah ekspansi dari pemodelan *two-legs zig-zag ladder* 2 dimensi dengan mempertimbangkan interaksi antar *ladder* dan terjadinya dimerisasi atau 3 dimensi berdasarkan efek perubahan simetri kisi terhadap topologi asli sistem spin kuantum NH_4CuCl_3 (*two-legs coupled zig-zag ladder*).

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya serta sentuhan kasih-sayang-Nya yang tersirat dalam ilmu yang terdapat pada setiap jengkal luasnya alam semesta. Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Rasul Tercinta Muhammad SAW hingga menembus keterbatasan dimensi ruang-waktu yang hanya akan berakhir pada penghujung usia semesta.

Karya tulis ilmiah (SKRIPSI) yang berjudul **“Pemodelan *Two-Legs Zig-Zag Ladder* Untuk Simulasi Sifat Magnetisasi Sistem Spin Kuantum NH_4CuCl_3 Dengan Pemrograman ALPS”** ini penulis tujukan untuk dapat memahami setetes dari luasnya rahasia keagungan-Nya yang tersimpan dalam disiplin ilmu fisika pemodelan bahan magnetis, serta untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penulis menyadari bahwa penyusunan karya tulis ilmiah ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Lutfi Rohman, SSi., MSi., Dosen Pembimbing Utama (DPU) dan Prof. Drs. Agus Subekti, MSc., PhD., Dosen Pembimbing Anggota (DPA) yang telah meluangkan waktu, pikiran serta perhatian beliau guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya penelitian dan penulisan skripsi ini;
2. Drs. Yudha Cahyoargo Hariadi, MSc, PhD, selaku Dosen Penguji II dan Agung Tjahjo Nugroho, SSi., Mphil., selaku Dosen Penguji III, terimakasih atas segala masukan, kritikan dan saran yang telah diberikan bagi kesempurnaan penulisan skripsi ini;
3. Prof. Dr. Matthias Troyer (*Institute for Theoretical Physics at ETH Zurich*), Syngge Todo, PhD. (*Departement of Applied Physics, University of Tokyo*), atas

segala bantuan yang diberikan kepada penulis dalam mempelajari pemodelan bahan magnetis, pemrograman ALPS serta proses eksekusi program;

4. Seluruh dosen, staf dan karyawan di jurusan Fisika FMIPA, penulis ucapkan terimakasih atas segala bantuan yang telah diberikan dan atas setiap canda dan gurauan segar yang melepaskan kepenatan selama penulis melakukan penelitian;
5. Anggota KuMaN (selain penulis sendiri) : Rio Setiawan, Nova Purwantara, Ahmad Syahroni, Rian Firdaus, penulis ucapkan terimakasih atas setiap ide kreatif yang membangkitkan gairah ilmiah dalam benak penulis selama penelitian dan penulisan skripsi;
6. Rekan-rekan Jurusan Fisika : Mohammad Masruri, Hardianto, Makhrus Ali Rafsanjani, Muhammad Rofiq, Muhammad Mu'tashim dan semua rekan di Jurusan Fisika angkatan 2003 hingga 2008 serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terimakasih penulis ucapkan kepada mereka semua atas setiap diskusi yang telah menciptakan ide dan pola fikir bagi penulis dalam pengerjaan skripsi.

Penulis menyadari bahwa penulis adalah manusia yang jauh dari kesempurnaan, sehingga penulis akan selalu mengharapkan munculnya segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan penelitian yang tertulis dalam skripsi ini. Penulis berharap, semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi disiplin ilmu Fisika serta kepada setiap pembacanya.

Jember, 27 Februari 2009

Penulis

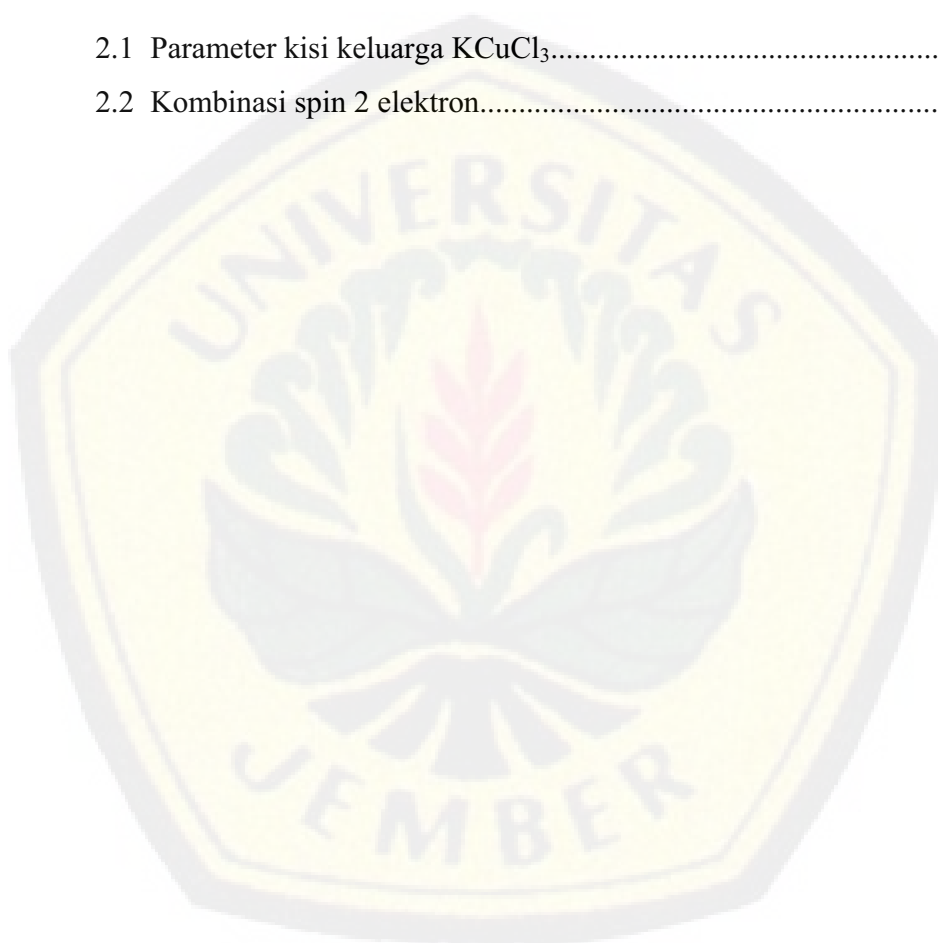
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Struktur Kristal NH₄CuCl₃	6
2.2 Sifat Magnetis NH₄CuCl₃	8
2.3 Hamiltonian Spin Model Heisenberg	10

2.4 Model <i>Two-Legs Zig-Zag Ladder</i> Untuk Sistem Spin Kuantum NH_4CuCl_3	14
2.5 Simulasi Suseptibilitas Magnet dan Magnetisasi Pemodelan <i>Two-Legs Zig-Zag Ladder</i> Dengan Pemrograman ALPS.....	17
BAB 3. METODE PENELITIAN	20
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	20
3.2 Prosedur Kerja.....	20
3.2.1 Instalasi Librari dan <i>Software</i> ALPS dalam GNU LINUX.....	20
3.2.2 Persiapan Simulasi Sifat Magnetis NH_4CuCl_3	21
3.2.3 Menjalankan Simulasi.....	23
3.2.4 Analisis Data.....	24
3.2.5 Diagram Penelitian.....	25
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Hamiltonian Spin Model Heisenberg Pada Model Kisi <i>Two-Legs Zig-Zag Ladder</i> Dalam Program Xml-ALPS.....	26
4.2 Kalibrasi Pemrograman Xml-ALPS Untuk Hamiltonian Heisenberg dan Model <i>Two-Legs Zig-Zag Ladder</i>	27
4.3 Simulasi Monte Carlo Kuantum Untuk Sifat Suseptibilitas Magnetis Model <i>Two-Legs Zig-Zag Ladder</i>	29
4.4 Simulasi DMRG Untuk Sifat Magnetisasi Dalam Medan Eksternal Pemodelan <i>Two-Legs Zig-Zag Ladder</i> Pada Suhu 0,5 K.....	33
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	37
6.1 Kesimpulan.....	37
6.2 Saran.....	38
CATATAN AKHIR	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN-LAMPIRAN	43

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Parameter kisi keluarga KCuCl_3	7
2.2 Kombinasi spin 2 elektron.....	11



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Struktur molekul senyawa ABX_3	6
2.2 Struktur kristal monoklinik dengan ruang grup P dan C.....	7
2.3 Struktur kristal NH_4CuCl_3 pada temperatur ruang (Ruang Grup $P2_1/c$) dilihat sepanjang sumbu a	7
2.4 Kurva suseptibilitas bahan antiferomagnet.....	9
2.5 Kurva magnetisasi NH_4CuCl_3 diukur pada $T=0,5$ K. Data pengukuran dari kristal dan data pengukuran bentuk serbuk.....	10
2.6 Pemetaan model <i>two-legs zig-zag ladder</i> dalam 1D.....	15
2.7 Kurva magnetisasi model <i>two-legs zig-zag ladder</i> dengan Hamiltonian 2.11. ukuran sistem $N = 48$	17
3.1 Diagram Penelitian.....	25
4.1 Profil pemodelan kisi <i>two-legs zig-zag ladder</i> yang diprogramkan pada <i>ALPS lattice xml</i>	27
4.2 Kurva magnetisasi bebas temperatur pemodelan <i>two-legs zig-zag ladder</i> dengan konstanta kopling $J_1=1$, $J_2=2$ dan ukuran sistem $N=50$ spin.....	28
4.3 Kurva suseptibilitas magnetis terhadap temperatur pemodelan <i>two- legs zig-zag ladder</i> dengan konstanta kopling $J_1=1$ dan $J_2=2$, ukuran sistem $N = 50$ spin dan $\delta = 0,5, 0,6, 0,7$ dan $0,8$	30
4.4 Kurva suseptibilitas magnetis terhadap temperatur pemodelan <i>two- legs zig-zag ladder</i> dengan konstanta kopling $J_1=2$ dan $J_2=4$, ukuran sistem $N = 50$ spin dan $\delta = 0,5, 0,6$, dan $0,8$	32
4.5 Kurva magnetisasi pemodelan <i>two-legs zig-zag ladder</i> dengan konstanta kopling $J_1=2$ dan $J_2=4$, $\delta = 0,7$ pada $T=0,5$ K, ukuran sistem $N=50$ spin.....	34

4.6 Kurva magnetisasi pemodelan <i>two-legs zig-zag ladder</i> dengan konstanta kopling $J_1=2$ dan $J_2=4$, $\delta = 0,8$ pada $T=0,5$ K, ukuran sistem $N=50$ spin.....	34
---	----



DAFTAR LAMPIRAN

A. PROGRAM xml-ALPS.....	43
A.1 Program xml Untuk Mendeskripsikan Hamiltonian Heisenberg.....	43
A.2 Program xml Untuk Mendefinisikan Kisi Terbatas dengan $N=50$ spin.....	44
B. PARAMETER SIMULASI DALAM PLAIN TEXT.....	46
B.1 Simulasi Monte Carlo Kuantum.....	46
B.2 Simulasi DMRG.....	49
C. PROGRAM PARAMETER PLOT DALAM FORMAT xml.....	52
C.1 Plot Suseptibilitas Magnetik vs Temperatur.....	52
C.2 Plot Magnetisasi vs Medan Magnet Eksternal.....	52