

A REVIEW OF VARIABLE REFRIGERANT VOLUME TINJAUAN VARIABEL REFRIGERANT VOLUME

Arfidian Rachman^{1)*}, Arfita Yuana Dewi²⁾, Asnal Effendi³⁾, Lisa Nesti⁴⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, ^{2),3)} Jurusan Teknik Elektro, ⁴⁾Jurusan TM.Industri

^{1,2,3)}Institut Teknologi Padang

⁴⁾Politeknik ATI Padang

*Corresponding Author E-mail: drarfidianrachman@gmail.com

Abstract

VRV systems are multi-split HVAC systems that maintain different portions by varying refrigerant volume. These systems control refrigerant volume for efficiency and dependability. This review aims to identify VRV system elements affecting operational and performance factors. Previous studies are crucial for future large-scale VRV development.

Keywords: *Inverter Compressor, Evaporator, VRV/VRF, Thermal Comfort, COP*

Abstrak

Sistem VRV adalah sistem HVAC multi-split yang mempertahankan porsi berbeda dengan memvariasikan volume refrigeran. Sistem ini mengontrol volume zat pendingin/refrigeran untuk efisiensi dan keandalan. Kajian ini bertujuan untuk mengidentifikasi elemen sistem VRV yang mempengaruhi faktor operasional dan kinerja. Studi sebelumnya sangat penting untuk pengembangan VRV skala besar di masa depan.

Kata Kunci : *Kompresor Inverter, Evaporator, VRV/VRF, Kenyamanan Termal, COP*

1. PENDAHULUAN

Sektor HVAC mengalami peningkatan yang signifikan dalam efisiensi dan kinerja dari waktu ke waktu karena implementasi Variable volume (VRV) di rumah dan bisnis. VRV menggunakan sistem kompresor yang luas untuk mencapai pemanasan dan pendinginan. Dual-mode HVAC adalah sistem konvensional yang menggabungkan VRV dengan evaporator, memungkinkan pemanasan dan pendinginan yang lebih efisien.

Pada tahun 1982, Daikin Industries [1] [2] menciptakan sistem volume pendingin variabel (VRV), yang terdiri dari satu unit luar dan beberapa unit evaporator dalam. Menurut industri HVAC, sistem VRV adalah nama merek dagang yang digunakan secara eksklusif oleh Daikin Industries, meskipun variasi lain dari teknologi ini dikenal sebagai sistem VRF. Daikin Industries memimpin solusi HVAC yang hemat ruang dan hemat energi ini, yang telah berkembang di masyarakat dan tempat tinggal yang lebih besar.

Untuk menentukan apakah inovasi sistem efektif, perlu untuk menganalisis efisiensi dan kinerja sistem HVAC, yang mencakup sejumlah subkategori seperti kompresor dan kontrol super panas bersama dengan distribusi kontrol suhu. Peningkatan harga energi, kenyamanan termal zona, dan fleksibilitas desain adalah beberapa aspek yang berkontribusi pada nilai sistem VRV. Prediksi tentang permintaan pasar VRV masa depan dan kemajuan teknologi telah memicu minat pada sistem VRV.

Tren penelitian terutama berfokus pada analisis kinerja dan faktor distribusi suhu secara terpisah. Aynur [3] menganalisis artikel yang mencakup semua aspek teknologi VRF sistem membutuhkan pemanasan dan pendinginan. Karena kompleksitas komponen VRF dapat meningkat dengan cepat bahkan dengan operasi pompa panas saja, pemulihan panas tidak dipertimbangkan dalam konteks ini. Jenis pengujian lapangan dan rentang interpretasi sistem yang mungkin, bagaimanapun, tetap sebanding. Dalam upaya untuk menarik kesimpulan yang dapat digeneralisasi, temuan dari studi ini

diekstrapolasi dan dikombinasikan untuk menawarkan sumber lengkap dari penelitian komponen dan konfigurasi. Penelitian baru dan yang akan datang memungkinkan untuk kemajuan VRF/VRV.

2. TINJAUAN VRV

Dalam aplikasi di perumahan, instalasi VRV sedang dikembangkan, diuji, dan dikalibrasi oleh universitas, dalam kolaborasi dengan bisnis industri terkemuka. Para ahli industri membantu untuk memahami bagaimana masing-masing komponen bekerja dan apa yang berkontribusi di luar kondisi ideal seperti yang dijelaskan dalam banyak buku teks. Ketika pengetahuan sistem meningkat, masalah dan kegagalan diidentifikasi dengan memeriksa perubahan dalam tekanan dan suhu saluran pendingin saat EEV dan operasi fan coil unit (FCU) terjadi. Pengujian zona variabel dilakukan, dan hasilnya diserahkan untuk penilaian oleh para ahli. Berdasarkan komentar mereka, modifikasi tes dilakukan, dan operasi yang diharapkan diprediksi. Studi dan proyek bertujuan untuk memajukan VRF.

Studi VRF yang berisi beberapa komponen dengan berbagai konfigurasi dan pengujian lapangan mereka adalah konsep dan topik yang berjalan sepanjang pekerjaan ini. Mengenai jenis refrigeran dan kontrol sistem, penelitian kompresor yang membawa refrigeran melalui pilihan desain pipa yang berbeda semua diperhitungkan.

Aliran refrigeran di seluruh sistem VRF diatur sebaliknya berjalan pada kecepatan pengaturan kompresor satu atau dua tahap, yang berbeda dari konsep yang disediakan dari sistem pendingin kompresi uap. Katup ekspansi elektronik (EEV) digunakan sebagai pengganti untuk valve ekspansi set-posisi konvensional, diatur bersamaan. Untuk memungkinkan volume refrigeran untuk mengalir ke evaporator, EEV dikalibrasi untuk berbagai ukuran lubang. Berapa banyak beban yang diperlukan untuk mengelola suhu zona terkait dengan lokasi ukuran lubang EEV. Kompresor biasanya bekerja pada kecepatan yang bervariasi untuk memenuhi persyaratan beban keseluruhan sistem.

Karena kompresor dapat berjalan pada berbagai kecepatan tergantung pada beban yang diperlukan untuk mempertahankan suhu di seluruh zona tunggal atau pengaturan beberapa zona, efisiensi energi meningkat. Sistem VRF dapat berjalan untuk jumlah waktu yang sama tetapi hanya pada kecepatan kompresor yang diperlukan, menghasilkan kontrol suhu zona yang sama, tetapi dengan biaya yang lebih rendah karena konsumsi energi yang lebih sedikit, dibandingkan dengan sistem yang berjalan pada kapasitas penuh untuk jangka waktu singkat untuk mendinginkan zona.

Untuk mempertahankan umur dan operasi yang tepat dari peralatan, siklus kompresi uap mencakup kriteria penting. Setiap bahan pendingin cair yang memasuki kompresor harus *overheated vapor* untuk menghindari kerusakan pada komponen interior kompresor. Untuk mencapai ini, jumlah udara kembali hangat yang diserap melalui koil evaporator untuk menyebabkan campuran refrigeran untuk menguap seimbang. Tanpa perubahan karakteristik aliran udara yang tepat di atas koil evaporator, bahan pendingin tidak dapat melakukan transisi fase penuh dari cairan ke uap yang terlalu panas. EEV mengelola aliran refrigeran dan memungkinkan lebih sedikit refrigerant untuk melewati dan dengan tepat memperoleh uap yang terlalu panas karena memiliki uap terlalu panas memastikan bahwa refrigerasi tidak dalam bentuk cair di jalur selama fase ini.

Dalam penelitian, variabel *superheat* diperhitungkan untuk mengukur seberapa baik aliran refrigeran yang ada bekerja. Sebagai alternatif, untuk mengendalikan tingkat *superheat* di keluaran evaporator, aliran udara melalui koil evaporator dapat ditingkatkan. Dengan menciptakan keseimbangan operasi antara setiap komponen dalam sistem, efisiensi dimaksimalkan. Satu output dapat diproduksi dengan mengubah beberapa input. Di sinilah pengendalian sistem sangat penting untuk efisiensi dan kehandalan.

Dibandingkan dengan sistem saluran udara, sistem VRV menyediakan unit evaporasi interior yang kompak yang mengambil ruang yang lebih sedikit. Faktor bentuk kecil yang menguntungkan adalah di mana ia memainkan peran besar dalam penyesuaian sistem VRV. Karena kemampuan untuk menambahkan lebih banyak unit penguapan dalam ruangan dan memodifikasi aliran refrigeran ke setiap unit, sistem VRV modular dan serbaguna. EEV dan ventilator aliran udara dikombinasikan menjadi unit kecil dalam sistem multi-split, yang memiliki banyak evaporator dalam ruangan yang

terhubung secara paralel ke saluran pendingin yang sama yang pergi ke dan dari unit luar dengan kompresor dan kondensor.

EEV berfungsi untuk meningkatkan kemampuan untuk menghilangkan panas karena berbagai zona membutuhkan beban yang berbeda untuk mempertahankan suhu udara ideal mereka. Agar kompresor berfungsi sesuai dengan kapasitas yang disediakan oleh tingkat aliran, posisi EEV dari setiap unit indoor ditransmisikan ke unit outdoor (ODU).

3. KOMPRESOR – TIPE SCROLL

Hal ini mungkin tampak kontra-intuitif mengingat sifat penelitian yang dipertimbangkan bahwa jenis kompresor ini bekerja pada kecepatan maksimum. Roller yang mengelilingi rol lain adalah yang berjalan pada kecepatan maksimum, tetapi ketika kapasitas harus diubah, kontroler kompresor menarik roller terpisah. Suhu dingin mengalami kerja nol ketika gulungan dipisahkan, menggunakan jumlah energi sekecil mungkin. Ketika kapasitas diperlukan, gulungan diatur ulang untuk mulai menaikkan tekanan dan suhu refrigeran ke tekanan dan temperatur pembuangan. Rasio output dihitung dengan mengukur variasi antara gulungan yang disatukan (tutup) atau dipisahkan (buka) selama periode operasi.

Sistem tanpa saluran yang dibandingkan dengan sistem TXV dan FXO memberikan bukti bahwa menggunakan kompresor scroll lebih efisien daripada menggunakan satu tahap sederhana, menurut Cheung dan Braun [4]. Untuk lebih menonjolkan daerah di mana sistem berbasis VRF berfungsi optimal, teknik pengujian dirancang untuk menyediakan pengujian dalam kisaran beban parsial untuk satu sistem. Karena variasi dalam fungsi katup ekspansi, target superheat dipertahankan pada suhu yang sama dengan hanya sedikit perubahan dalam pengaturan kecepatan kompresor target. Masalah panjang umur efisiensi untuk konsumsi energi adalah ketika sistem VRF menyimpang dari garis dasar efisiensinya satu tahap selama jangka waktu yang lebih lama, bahkan ketika ada segmen suhu lingkungan di mana nilai COP sangat mirip.

Bukti lebih lanjut tentang efektivitas dan potensi keandalan kompresor roll digital dalam sistem pengkondisian udara multi-evaporator disediakan oleh Hu et al. [5] Dengan demikian keberhasilannya sangat bergantung pada integrasi EEV, kecepatan kompresor, dan output kapasitas. Karena jangkauan operasi jenis sistem ini berjalan dari 17% hingga 100%, tingkat kontrol tambahan memungkinkan untuk skenario beban parsial dan kemungkinan zonasi hingga lima unit indoor pada kompresor gulungan yang sama, yang mengurangi penggunaan energi. Ketika menambahkan atau menghapus zona yang diatur sementara tetap di bawah kompresor yang sama, kalibrasi diperlukan untuk menggunakan satu EEV hingga empat komponen untuk membangun regresi linear. Ketika dibandingkan dengan kipas luar, kondisi reaksi untuk uji coba berada pada suhu sub-dingin dan superpanas.

Meskipun beberapa sistem kompresor telah terbukti efektif dalam menganalisis situasi beban bagian untuk sistem VRF. Melalui penggunaan kompresor scroll digital dan kompresor kecepatan tunggal untuk lima unit indoor, penyelidikan Tu et al. [6]. Sistem ini mempertahankan stabilitas, ketika rasio output kompresor scroll digital adalah 100%, menutup katup dan menyebabkan scrolling untuk menghasilkan kapasitas penuh. Kompresor sekunder mulai bekerja pada titik ini. Kompresor konvensional dapat mengurangi rasio output sehingga tekanan target dapat dicapai sementara masih berusaha untuk mempertahankan stabilitas karena kompresor roll digital bekerja secara stabil tetapi tekanan target belum dicapai. Tekanan target tidak dapat diperoleh ketika kedua sistem berjalan sampai kapasitas output berkurang. Kompresor tradisional dimatikan ketika rasio output kompresor digital jatuh di bawah 20%. Hasilnya menunjukkan bahwa siklus on-off kompresor konvensional menyebabkan suhu udara pasokan besar. Tekanan penyerapan rata-rata diukur ketika kompresor digital diaktifkan dan dimatikan dalam upaya untuk mengoptimalkan percobaan. Ini memungkinkan untuk mengelola kapasitas output dengan cara yang berbeda setelah tekanan yang diinginkan dicapai. Karena penyerapan rata-rata, tujuan memiliki tekanan untuk mempertahankan osilasi dalam kisaran tertentu dicapai.

Untuk sistem VRF dengan pengaturan multi-kompresor yang sama seperti sebelumnya, teknik pengujian telah dijelaskan secara rinci oleh Xia et al. [7]. Meskipun untuk sistem pemulihan panas,

respons konfigurasi kompresor metodologi ini berlaku. Karena kedua kecepatan variabel dan kompresor kecepatannya digunakan di bawah pengaturan beban parsial, kinerja luar biasa. Sementara analisis sebelumnya bertujuan untuk menentukan frekuensi ideal di mana untuk terlibat kompresor sekunder, sistem mulai terlibat kompresor kecepatan tunggal, terjadinya peningkatan efisiensi. Tidak mengherankan bahwa ada banyak studi tentang pengaturan kompresor ganda karena kondisi beban bagian mewakili awal peningkatan efisiensi. Zhang et al. [8] melakukan eksperimen dengan sistem VRF menggunakan kompresor kecepatan tunggal di samping kompresor scroll digital untuk menilai kondisi beban parsial untuk sistem empat zona, mirip dengan penelitian sebelumnya multi-kompresor. Perbandingan efisiensi energi (EER) dan COP digunakan untuk menentukan bahwa pengaturan kompresor ini, yang diatur oleh *pulse width modulation* (PWM), tidak ideal karena PWM berubah seiring waktu.

Min et al. [9] menggunakan kompresor roll injeksi dan sub-cooler untuk membuat model simulasi. Tingkat superheat dan sub-cool, serta efisiensi dan injeksi rasio, dinilai dan dikembangkan sebagai parameter. Peningkatan rasio selama bulan dingin dapat meningkatkan efektivitas kompresor yang ditentukan oleh perbedaan tekanan. Bagian yang berbeda dari kecepatan aliran massa memperpanjang waktu jendela injeksi yang sama, yang meningkatkan rasio dan meningkatkan tingkat aliran massa dari kompresor. Kompresor scroll digital menunjukkan kelebihan untuk pengembangan masa depan, termasuk injeksi uap, dalam berbagai iklim.

3.1 Hal yang penting kompresor

- Dengan komponen mekanis yang memisahkan bagian atas dan bagian bawah kompresor roll, compressor roll digital bekerja pada kecepatan penuh tanpa gangguan, mengurangi upaya hingga nol dan menghasilkan tidak ada perbedaan tekanan.
- Kompresor inverter memiliki motor yang menyesuaikan kecepatan tindakan rolling dengan suhu dan kontrol tekanan yang tepat untuk kondisi beban parsial; tidak ada pemisahan atas dan bawah.
- Berbagai sistem kompresor memiliki kecepatan variabel dan kompresor satu kecepatannya yang memiliki koefisien kinerja yang lebih tinggi. Kompresor kecepatan variabel mulai memperlambat ketika suhu lingkungan turun, bahkan jika kedua kompresor bekerja pada kapasitas maksimum.
- Nilai COP rata-rata selama periode waktu yang lebih singkat.

4. MULTI - EVAPORATOR

Hal ini telah dicatat bahwa pengaturan multi-evaporator untuk residensial dan komersial sering termasuk dua hingga lima evaporator, masing-masing. Bagian pertama dari pemeriksaan secara khusus melihat pada sifat ekspansif dari sistem VRV karena komponen berikutnya akan terpengaruh oleh ekspansi unit evaporator. Ulasan ini mencakup pemodelan dan simulasi karena melakukan percobaan nyata dengan perhitungan untuk lebih dari dua unit. Penelitian lapangan dapat berhasil dimulai dari titik awal dengan melakukan simulasi yang dibantu komputer.

4.1 Hal yang penting sistem multi-Evaporator

Menambahkan evaporator meningkatkan jumlah input dan output nonlinear untuk menghasilkan integrasi sistem yang tepat, stabilitas, dan handal. Pengujian meliputi:

- Perubahan posisi EEV untuk respons dalam pengukuran superpanas dengan kecepatan kompresor tetap
- Pengurangan aliran udara di zona tunggal untuk respon zona dan stabilitas
- Berbagai kondisi beban per zona tunggal untuk stabilitas dan respons di zona lain dan beban konstan
- Beban konstan yang berbeda per zona untuk respons sistem melalui kontroler EEV dan kecepatan kompresor variabel
- Membatasi rentang aliran udara dan kecepatan kompresor untuk percobaan kondisi beban parsial

5. REFRIGERANT

Kinerja bukanlah satu-satunya faktor yang dipertimbangkan ketika memilih refrigerant. Kemajuan dalam meningkatkan refrigeran didorong oleh karakteristik yang menguntungkan dan tidak berbahaya bagi lingkungan. Amarnath dan Blatt [10] mencatat bahwa berbagai bahan pendingin, termasuk R-22 dan R-407C, digunakan dalam tahun-tahun sebelum sistem VRF perumahan sebelum adanya R-410A yang lebih populer. Karena R-22 adalah pendahulu dari R-410A. Shah et al. memvalidasi sistem dua evaporator berfokus pada tekanan dan respons superheat tetapi tidak membandingkan refrigerant.

Hanya R-407C yang menggunakan R-32 dalam kombinasi dengan R-125 dan R-134a. R-134a ditemukan memiliki efisiensi maksimum dalam sistem model MATLAB untuk kualitas superheat dan subcooling dalam penelitian oleh Sencan et al. [11]. Karena efisiensi kompresor digunakan dalam model untuk perhitungan, sistem yang dievaluasi bukanlah sistem yang sangat tetap. COP diukur dengan menggunakan R-134a, R-407C, dan R-410A dalam penerapan hukum pertama dan kedua termodinamika. Hal ini ditemukan bahwa R-410A, meskipun menjadi refrigerant yang lebih modern dan aman, memiliki tingkat efisiensi yang lebih rendah daripada refrigeran lainnya.

Penelitian Atas et al. [12] tentang sistem VRF dengan tiga evaporator dalam eksperimen campuran R-407C lainnya menyebabkan nilai COP minimum 2,24, dibandingkan dengan studi Sencan, yang memiliki kisaran COP dari 2 hingga 6,5 tergantung pada efisiensi kompresor dan suhu operasi. Tanda lain dari efisiensi VRF di atas sistem kecepatan tunggal adalah rentang COP yang berkurang. Kontrol suhu masing-masing unit tetap konsisten karena kontrol EEV mempertahankan tekanan dan suhu yang tepat di output evaporator.

Sembilan evaporator dan lima bahan pendingin yang berbeda R-134a, R290, R-410A, R-600, dan R-717 digunakan dalam eksperimen Saab et al. [13], R717 memiliki COP tertinggi dalam berbagai tekanan kompresor; itu 24% lebih efisien daripada R410A, sedangkan refrigeran lainnya berkinerja antara 12% dan 37% lebih buruk. Karena menggunakan R717 (ammonia) yang berbahaya, R410A dipilih sebagai gantinya. Berbagai karakteristik, seperti potensi pengurangan ozon, potensi pemanasan global, dan umur panjang semua memainkan peran dalam memilih refrigerant terbaik.

Kekurangan dari R717 akan meningkatkan biaya pemeliharaan karena harus diganti setiap tahun dan juga buruk untuk lingkungan. Ada kompromi antara nilai COP dari kompresor dan evaporator karena sementara COP kompresor tumbuh dengan tekanan, COP evaporator menurun saat tekanan meningkat. Di rentang tekanan di mana R717 memiliki potensi COP terbesar tetapi juga menimbulkan risiko bagi lingkungan dan kesehatan manusia, respon serupa telah terlihat untuk setiap refrigeran. Koefisien kinerja (COP) untuk R-410A dan R134a masing-masing adalah 3,9 dan 3,4. Karena kekhawatiran dalam hal pemeliharaan dan keamanan, refrigeran yang tersisa biasanya mempertahankan COP yang lebih rendah tetapi tidak digunakan.

Untuk mengumpulkan data kinerja, Tu et al. [6] mengisi sistem VRF dengan 16 kg R-410A. Karena bagian-bagian dari sistem mungkin disimpan dalam sub-cooler yang memiliki dampak pada percobaan ini, sejumlah besar muatan diperkenalkan ke dalam sistem. Sistem lain dengan banyak evaporator membutuhkan sejumlah variabel input untuk mengatur kecepatan kompresor, kipas angin, dan posisi EEV, tetapi kontroler ini terlebih dahulu memverifikasi bahwa unit ini diaktifkan sebelum memeriksa perubahan tekanan dan mengubah atau menghentikannya jika diperlukan. Eksperimen ini menggunakan kompensasi tekanan untuk mempertahankan dinamika kapasitas dan mencerminkan perubahan sistem adalah contoh yang baik dari kontroler yang dibangun sistem. Kecepatan kompresor dan fungsi EEV harus seimbang.

Untuk sistem VRF yang menggunakan R-410A melalui katup ekspansi termostatik (TXV) atau lubang tetap dengan akumulator (FXO), yang biasanya digunakan dalam sistem kecepatan tunggal, Cheung et al. [14] mempelajari mode pemanasan dengan berbagai jenis katup ekspansi. Sistem VRF dan sistem kecepatan tunggal sangat kontras. Untuk setiap sistem yang dipertahankan pada 2,2 kg beban R410A, COP dan efisiensi produksi panas, transfer panas, degradasi, dan efektivitas hukum kedua dipantau dan dilaporkan. COP antara sistem VRF dan sistem TXV dan FXO berada dalam kisaran yang dapat diterima satu sama lain ketika suhu lingkungan berada di bawah titik target, ketika sistem dipertahankan di dekat kapasitas penuh. COP dari sistem VRF, bagaimanapun, melampaui sistem TXV dan FXO hingga 2,5 ketika suhu mendekati kapasitas beban parsial dan sistem VRF

mulai mengontrol kecepatan kompresor. R-410A terus menjadi pilihan populer untuk refrigerator/kulkas rumah tangga standar.

5.1 Hal yang penting Refrigerant

- Banyak faktor mempengaruhi pilihan refrigerant selain kinerja
 - o Potensi penipisan ozon
 - o Potensi pemanasan global
 - o Masa pakai refrigeran
 - o Total bahaya
- Koefisien kinerja dan faktor lingkungan menempatkan R-134a dan R-410A lebih aman dan handal tetapi R410A tekanan dan sifat suhu yang sesuai untuk sistem HVAC perumahan
- R-717 terbukti menjadi yang terbaik tetapi dikenal sebagai yang paling berbahaya dan paling membutuhkan perawatan
- R-410A adalah bahan pendingin umum saat ini di atas R-22, yang sudah dilarang karena bahaya ozon dan potensi transfer panas.

6. PANJANG PIPA

Telah ditemukan bahwa panjang pipa pendingin secara signifikan mempengaruhi sensitivitas dan reaksi sistem. Penelitian Lin et al. [15] tentang sistem VRF triple-evaporator menggunakan panjang pipa 11 m, 17 m, dan 28 m untuk setiap unit indoor. Tingkat superheat terlihat meningkat antara masing-masing unit karena panjang tabung refrigeran karena superheater adalah fokus untuk fungsi kontroler. Untuk mempertahankan jumlah superheat yang konstan, bagian kontrol studi menggunakan umpan balik kesalahan ke kontroler untuk menyeimbangkan variasi signifikan yang disebabkan oleh panjang pipa yang berbeda. Sepanjang proses optimalisasi, respons suhu udara konsisten. Saluran pendinginan yang lebih panjang menyebabkan penurunan tekanan yang dapat memengaruhi kinerja sistem, Pan et al. [16] meneliti tata letak satu evaporator di teliti dan dievaluasi, menjaga keseragaman panjang saluran pendingin. Tidak seperti ukuran evaporator, diameter pipa yang ditandai dipertimbangkan dan memberikan kinerja terbaik. Jika menambahkan alat penguap tambahan setelah keduanya, itu akan berubah. Karena penelitian ini tidak dirancang untuk digunakan di rumah dalam hal jumlah alat penguap, Saab et al. [17] mempelajari refrigeran yang berbeda di sembilan evaporator dengan panjang pipa 20 m. Namun, meningkatkan tekanan dalam kompresor menurunkan COP sistem dan masing-masing refrigeran, meskipun panjangnya tetap sama. Dari penelitian Min et al yang berfokus pada injeksi uap dalam sistem VRF, yang ternyata lebih hemat biaya dengan panjang pipa yang lebih panjang dan komponen tambahan yang diaktifkan sepenuhnya. Meskipun studi ini dilakukan untuk sistem evaporator ganda yang dapat digunakan secara umum untuk lingkungan rumah, fokus utama Yan et al. [18] adalah pada pemanfaatan bangunan. Faktor yang paling berubah di berbagai situasi pengujian adalah tekanan penguapan unit dalam ruangan, yang mulai meningkat seiring dengan panjang menjadi lebih panjang dan memperluas kesenjangan antara kondensator dan tekanan evaporasi. Pada tahap perubahan sistem ini, penyesuaian yang dilakukan di tempat lain, seperti pada kompresor, dapat membatalkan variasi tertentu dalam panjang pipa. Penggunaan EEV untuk manajemen kontrol pendingin juga dapat memecahkan masalah yang disebabkan oleh variasi ukuran pipa, tetapi ini kontraproduktif untuk menciptakan sistem yang dapat digunakan secara universal.

Instalasi membutuhkan tuning dan penyesuaian yang redah, tetapi tidak pada tingkat kontrol perangkat lunak. Perlu dicatat bahwa ketika evaporator ditambahkan ke sistem, penurunan tekanan antara masing-masing cabang dari jalur pendingin harus cukup rendah. Sebagai alternatif, menambahkan pipa pendingin dengan diameter yang lebih besar membantu mengurangi penurunan tekanan. Ini hanya bisa terjadi jika sistem secara keseluruhan bekerja optimal; jika tidak, COP dan efisiensi secara keseluruhan akan turun.

6.1 Hal Yang Penting Untuk Dimensi Pipa

- Sistem dengan pipa pendingin yang lebih lama mungkin memerlukan titik kontrol superpanas yang lebih tinggi untuk mengkompensasi dan mempertahankan uap saat keluar, penurunan tekanan terjadi secara alami untuk panjang pipa yang lebih panjang sehingga mengubah kontrol suhu untuk superheat dan kinerja
- Konsep mendasar dengan panjang pipa adalah mempertahankan uap dari evaporator ke input kompresor
- Sistem keseimbangan mendukung panjang pipa yang sama untuk beberapa sistem evaporator
- Diameter pipa tetap tergantung pada kapasitas unit indoor dan pilihan refrigerant namun kompromi antara panjang dan diameter harus diteliti untuk berbagai jarak evaporator.

7. KENYAMANAN TERMAL

Kelembaban relatif juga harus dipertimbangkan untuk kenyamanan termal yang tepat; suhu saja tidak cukup. Pengujian sistem untuk kontrol sensitivitas diperlukan untuk memastikan bahwa suhu zona dicapai perlahan bukannya cepat, yang dapat menyebabkan kesakitan konsumen atau masalah kebisingan karena memiliki kecepatan aliran udara yang terlalu cepat. Berdasarkan penelitian sebelumnya pada sistem evaporator tunggal dan ganda, Yan dan Deng [19] menciptakan mekanisme pengaturan untuk sistem evaporator tiga. Kontrol berbasis suhu untuk satu sistem dan kontrol berbasis kelembaban untuk sistem lain adalah faktor pendorong untuk penyelidikan ini. Sistem ini dikombinasikan oleh Yan dan Deng [19] untuk memodelkan seluruh reaksi dalam suhu dan kelembaban relatif. Tiap-tiap dari tiga komponen dari eksperimen dari penelitian ini menunjukkan bahwa mempertahankan kontrol sistem yang efektif dalam kisaran suhu yang diinginkan, variasi pada beban sensitif dan tersembunyi hanya memiliki dampak pada pola respons untuk suhu dan kelembaban relatif. Dengan beban 1150 W dan 450 W, masing-masing, unit indoor pertama memiliki nilai terendah. Ini menunjukkan bagaimana unit indoor pertama yang mencapai ambang kontrol suhu yang lebih rendah berada di lokasi itu. Kontroler mengurangi aliran udara dan bahan pendingin di atas dan melalui koil evaporator sebagai hasil dari urutan operasi ini. Melalui metode dehumidifikasi tidak langsung ini, kelembaban relatif terendah, 51%, dicapai antara tiga zona. Sampai 58% kelembaban relatif dipertahankan di dua zona lainnya. Dalam uji coba lebih lanjut, Yan dan Deng [19] menetapkan suhu sasaran unit dalam ruangan 1, 2, dan 3 untuk berada dalam 1°C (sekitar 1.9 °F) dari satu sama lain, pada 27°C (80°F), 26°C (78.8°F), dan 25°C. Pada 1300 W dan 500 W, beban sensitif dan tersembunyi dipertahankan di seluruh komponen. Pada 40 menit, beban unit indoor 1 diubah dari 1300 W ke 1400 W dan 500 W ke 700 W, masing-masing. Menurut temuan, suhu target dipertahankan pada 27°C (80.7 ° F) dengan pola modulasi yang lebih longgar sementara perubahan beban meningkatkan kelembaban relatif sebesar 3%. Zona 1 membutuhkan waktu sekitar 30 menit untuk merespon, selama waktu itu suhu dan kelembaban relatif zona stabil. Dua zona lain tidak banyak terpengaruh dan sama sekali tidak bereaksi. Simulasi EnergyPlus digunakan oleh Park et al. [20] untuk memeriksa konfigurasi sistem VRF dengan dan tanpa ventilasi eksternal. Park et al. menemukan bahwa struktur non-perumahan ini dengan sistem VRF tanpa ventilasi menawarkan kurang dari 20% kondisi nyaman yang dapat diterima untuk musim dingin dan musim panas menggunakan kriteria kenyamanan termal ASHRAE. Setiap jenis ventilasi, termasuk ventilasi pemulihan energi (ERV) dan sistem udara luar ruangan khusus (DOAS), meningkatkan kisaran 65% hingga 94% untuk kondisi yang nyaman di musim dingin dan musim panas yang dapat diterima ASHRAE. Untuk mempertahankan tingkat kenyamanan termal yang dapat diterima, respons sistem Yan dan Deng [19] untuk triple evaporator dengan suhu sasaran yang berubah dan reaksi kelembaban relatif yang lebih rendah dari variasi beban dibenarkan. Menanggapi saran Yan dan Deng [19] bahwa upaya yang harus dilakukan untuk mengurangi kelembaban relatif saat suhu naik di zona untuk mempertahankan dalam kisaran kenyamanan yang dapat diterima, Alahmer dan Alsaqoor [21]

mensimulasikan sebuah bangunan multi-tingkat dengan beberapa sistem split di seluruh setiap tingkat sambil menyelidiki kenyamanan termal untuk ruangan selama musim panas.

7.1 Hal Yang Penting Dalam Kenyamanan Termal

Setelah mencapai sistem yang stabil dan dapat diandalkan, strategi pengaturan diperiksa sambil mempertimbangkan kenyamanan termal.

- Untuk pengaturan triple evaporator tertentu, kelembaban relatif (RH) berfluktuasi secara stabil dan dengan kecepatan sederhana dengan perubahan pada beban sensitif dan latent. Setelah sistem multi-evaporator menjadi lebih umum, ada sejumlah persyaratan dan standar yang harus diikuti lebih erat.
- Sistem yang lebih umum akan memperkenalkan variabel ventilasi yang telah terbukti secara signifikan meningkatkan kenyamanan termal berdasarkan standar ASHRAE.

8. KOEFISIEN KINERJA TERHADAP RASIO EFISIENSI ENERGI

Metode umum untuk menilai sistem HVAC termasuk koefisien kinerja (COP) dan rasio efisiensi energi (EER). Peningkatan COP dan EER atas sistem drive kecepatan tunggal berlaku untuk sistem VRF/VRV. Sebagian besar keuntungan dari VRV dibandingkan dengan sistem kecepatan tunggal ditemukan dalam situasi beban parsial. Sementara sistem kecepatan tunggal dapat diaktifkan atau dimatikan, persyaratan beban parsial mendukung kecepatannya yang bervariasi VRF/VRV, memungkinkan nilai kinerja rata-rata yang lebih besar pada operasi yang lebih rendah dan lebih tinggi di mana COP dan EER sering lebih dekat satu sama lain. Dalam penelitian tertentu, rasio efisiensi energi musiman (SEER) juga diperhitungkan. Meskipun Tu et al. [6] menyelidiki penggunaan sub-cooler untuk muatan dan fluktuasi kinerja dengan kompresor kecepatan variabel menyoroti pentingnya kontrol pendinginan menggunakan kecepatannya kompresor dan membuka EEV. Ketika penyesuaian kompensasi tekanan dilakukan untuk variabel input kontrol yang mempengaruhi kecepatan kompresor, EER meningkat sebesar 25%.

Sementara selama kedua tes, pengaturan EEV dari subcoolers masing-masing dipertahankan di tempat yang sama sepanjang waktu, kompensasi dan kecepatan kompresor diubah. Dengan peningkatan 25%, kontrol posisi EEV untuk operasi kompresor. Sebelum ini, Atas et al. [12] melakukan eksperimen dengan pengaturan triple-evaporator dengan kecepatan variabel dan konfigurasi kompresor 50 Hz. Sistem kecepatan variabel berkinerja lebih baik daripada sistem 50 Hz kecepatannya tunggal, seperti yang diprediksi oleh data yang relevan, dengan COP 2,2 dibandingkan dengan 1.9. Rentang kecepatan variabel harus rata-rata selama tes, menghasilkan COP yang lebih besar secara keseluruhan. Hubungan langsung antara COP dan kecepatan kompresor adalah bahwa pada kecepatannya maksimum yang ditetapkan, COP adalah yang terendah.

8.1 Hal Yang Penting Untuk COP dan EER menekankan

- Koefisien kinerja dan rasio efisiensi energi adalah tanggapan langsung terhadap seberapa baik sistem dikendalikan dengan berbagai teknik integrasi dan faktor kompensasi, kompensasi tekanan dapat memberikan peningkatan EER hingga 25%
- Koefisien kinerja ditingkatkan untuk kompresor kecepatan variabel di atas kecepatannya tunggal sebagian besar dalam rentang kondisi beban
- Pengukuran kinerja relatif terhadap waktu yang dapat diukur karena percobaan menggunakan beberapa kompresor yang rata-rata COP selama operasi jam mereka yang diikat pada nilai yang lebih tinggi
- Sistem dengan kompresor bermodulasi lebar pulsa dapat dianalisis secara efektif dalam jendela waktu yang lebih kecil dari efisiensi energi per jam dan potensi rasio efektivitas energi musiman
- Dalam pengembangannya, COP dan EER hadir dengan sistem fine tuning yang sudah stabil

9. KESIMPULAN

Meskipun sistem VRF/VRV diterima dengan baik sebagai teknologi hemat energi, literatur yang ditinjau menunjukkan bahwa pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk membuat teknologi lebih berkelanjutan dan ekonomis. Kontrol EEV merupakan faktor kunci dalam efisiensi sistem dan teknologi kompresor perlu diselidiki lebih lanjut untuk menentukan jenis kompresor mana yang paling cocok untuk sistem VRF. Penelitian di masa depan akan mencakup penelitian tentang berbagai topik yang mengarah pada kinerja sinergis teknologi VRF/VRV yang optimal dan handal dalam penghematan energi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Daikin Industries, "www.daikin.eu," Daikin Industries, [Online]. Available: https://www.daikin.eu/en_us/about.html. [Accessed September 2019].
- [2] Conditioner Air Solutions, "What are VRV and VRF technology?" Conditioner Air Solutions, [Online]. Available: <https://www.conditionedairsolutions.com/what-are-vrv-andvrf-technology/>. [Accessed September 2019].
- [3] T. N. Aynur, "Variable refrigerant flow systems: A review," *Energy and Buildings*, vol. 42, pp. 1106-1112, 2010.
- [4] H. Cheung and J. E. Braun, "Performance comparisons for variable-speed ductless and single speed ducted residential heat pumps," *International Journal of Refrigeration*, vol. 47, pp. 15-25, 2014.
- [5] S.-C. Hu and R.-H. Yang, "Development and testing of a multi-type air conditioner without using AC inverters," *Energy Conversion and Management*, vol. 46, pp. 373-383, 2005.
- [6] Q. Tu, L. Zhang, W. Cai, X. Guo, X. Yaun, C. Deng and J. Zhang, "Control strategy of compressor and sub-cooler in variable refrigerant flow air conditioning system for high EER and comfortable indoor environment," *Applied Thermal Engineering*, vol. 141, pp. 215-225, 2018.
- [7] J. Xia, E. Winandy, B. Georges and J. Lebrun, "Testing Methodology for VRF Systems," in *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*, 2002.
- [8] D. Zhang, X. Zhang and J. Liu, "Experimental study of performance of digital variable multiple air conditioning system under part load conditions," *Energy & Buildings*, vol. 43, pp. 1175-1178, 2011.
- [9] B. Min, S. Na, T. Lee, S. Jang, H. Bae, C. Moon and G. Choi, "Performance analysis of multi-split variable refrigerant flow (VRF) system with vapor-injection in cold season," *International Journal of Refrigeration*, vol. 99, pp. 419-428, 2019.
- [10] A. Amarnath and M. Blatt, "Variable Refrigerant Flow: Where, Why, and How," no. 25, p. 54, 2008.
- [11] A. Sencan, R. Selbas, O. Kizilkan and S. A. Kalogirou, "Thermodynamic analysis of subcooling and superheating effects of alternative refrigerants for vapour compression refrigeration cycles," *International Journal of Energy Research*, vol. 30, pp. 323-347, 2006.
- [12] S. Atas, M. Aktas, I. Ceylan and H. Dogan, "Development and Analysis of a Multievaporator Cooling System with Electronic Expansion Valves," *Arabian Journal for Science & Engineering*, vol. 42, pp. 4513-4521, 2017.
- [13] R. Saab, H. A. Quabeh and M. I. Hassan Ali, "Variable refrigerant flow cooling assessment in humid environment using different refrigerants," *Journal of Environmental Management*, vol. 224, pp. 243-251, 2018.
- [14] H. Cheung and J. E. Braun, "Performance comparisons for variable-speed ductless and single speed ducted residential heat pumps," *International Journal of Refrigeration*, vol. 47, pp. 15-25, 2014.

- [15] J.-L. Lin and T.-J. Yeh, "Control of multi-evaporator air-conditioning systems for flow distribution," *Energy Conversion and Management*, vol. 50, pp. 1529-1541, 2009.
- [16] Y. Pan, Lorente, S., A. Bejan, L. Xia and S. Deng, "Distribution of size in multi-evaporator air conditioning systems," *International Journal of Energy Research*, vol. 38, pp. 652-657, 2014.
- [17] R. Saab and M. I. Hassan Ali, "Variable refrigerant flow cooling systems performance at different operation pressures and types of refrigerants," *Energy Procedia*, vol. 119, pp. 426432, 2017.
- [18] P. Yan, X. Xiangguo, X. Liang and D. Shiming, "A modeling study on the effects of refrigerant pipeline length on the operational performance of a dual-evaporator air conditioning system," *Applied Thermal Engineering*, vol. 39, pp. 15-25, 2012.
- [19] H. Yan, S. Deng and M.-Y. Chan, "Operating characteristics of a three-evaporator air conditioning (TEAC) system," *Applied Thermal Engineering*, vol. 103, pp. 883-891, 2016.
- [20] D. Park, G. Yun and K. Kim, "Experimental evaluation and simulation of a variable refrigerant-flow (VRF) air-conditioning system with outdoor air processing unit," *Energy and Buildings*, vol. 146, pp. 122-140, 2017. vol. 52, pp. 1-7, 2011.
- [21] A. Alahmer and S. Alsaqoor, "Simulation and optimization of multi-split refrigerant flow systems," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 9, pp. 1705-1715, 2018.
- [22] Andrew C. Hernandez III, Dr. Nelson Fumo, "A Review of Variable Refrigerant Flow HVAC System Components for Residential Application," *International Journal of Refrigeration*, vol.110, pp.47-57,2020.